

INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA - CAMPUS CAÇADOR

GABRIELA VALTER SANTIN

UM MODELO MATEMÁTICO PARA A ROTEIRIZAÇÃO DE
TRANSPORTE COLETIVO COM DESTINO AO IFSC - CÂMPUS
CAÇADOR

Caçador

2022

GABRIELA VALTER SANTIN

UM MODELO MATEMÁTICO PARA A ROTEIRIZAÇÃO DE
TRANSPORTE COLETIVO COM DESTINO AO IFSC - CÂMPUS
CAÇADOR

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Produção, Campus Caçador do Instituto Federal de Santa Catarina para a obtenção do diploma de Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Bruno Santos Vieira

Caçador
2022

Santin, Gabriela Valter

S235m Um modelo matemático para a roteirização de transporte coletivo com destino ao IFSC – Câmpus Caçador / Gabriel Valter Santin ; orientador: Bruno Santos Vieira. -- Caçador, SC, 2022.
69 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação)-Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Curso de Engenharia de Produção.

Inclui bibliografias

1. Engenharia de produção. 2. Transporte urbano. 3. Planejamento urbano. I. Vieira, Bruno Santos. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina. Curso de Engenharia de Produção. III. Título.

CDD 658.5

Ficha catalográfica elaborada pela Bibliotecária
Karla Viviane Garcia Moraes – CRB-14/1002

GABRIELA VALTER SANTIN

UM MODELO MATEMÁTICO PARA A ROTEIRIZAÇÃO DE TRANSPORTE
COLETIVO COM DESTINO AO IFSC – CÂMPUS CAÇADOR

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título em Bacharel em Engenharia de Produção, pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, e aprovado na sua forma final pela comissão avaliadora abaixo indicada.

Caçador, 15 de dezembro de 2022.

BRUNO
SANTOS
VIEIRA:0753696
9910

Assinado digitalmente por BRUNO SANTOS
VIEIRA:07536969910
ND: C=BR, O=ICP-Brasil, OU=presencial, OU=34028316000103, OU=Secretaria da Receita Federal do Brasil - RFB, OU=ARCORREIOS, OU=RFB e-CPF A3, CN=BRUNO SANTOS
VIEIRA:07536969910
Razão: Eu estou aprovando este documento com minha assinatura de vinculação legal
Localização:
Data: 2023.02.09 15:21:23-0300
Foxit PDF Reader Versão: 12.0.1

Prof. Dr. Bruno do Santos Vieira

Orientador

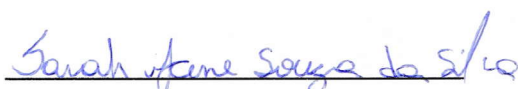
Instituto Federal de Santa Catarina

gov.br

Documento assinado digitalmente
CARLOS HENRIQUE RADAVELLI
Data: 09/02/2023 18:27:29-0300
Verifique em <https://verificador.ti.br>

Prof. Me. Carlos Henrique Radavelli

Instituto Federal de Santa Catarina


Prof. Me. Sarah Jane Souza da Silva

Instituto Federal de Santa Catarina

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a minha família, especialmente a minha mãe Jane, por se fazer presente nessa trajetória, pela paciência e compreensão. Também por sua luta constante para que as pessoas menos favorecidas tenham acesso à educação pública, de qualidade e gratuita.

Agradeço ao Professor Dr. Bruno Santos Vieira pela orientação neste trabalho, pelos momentos de aprendizado e por sua contribuição na minha formação acadêmica e no meu desenvolvimento pessoal e profissional.

Agradeço ainda, a todos os professores do curso de Engenharia de Produção que contribuíram com o meu desenvolvimento tanto intelectual quanto pessoal. E aos demais servidores da instituição que desenvolvem suas tarefas de maneira que seja garantido uma educação de qualidade.

Agradeço aos meus colegas, principalmente a Vanessa e Paloma, por estarem ao meu lado nessa caminhada e me acolherem em diversos momentos.

Agradeço à comunidade acadêmica, por disponibilizarem um pouco do seu tempo contribuindo para a coleta de dados e desenvolvimento de minha pesquisa.

Agradeço ainda, ao governo do Presidente Luiz Inácio Lula da Silva, pela expansão e interiorização do acesso à educação, o qual possibilitou a criação de instituições públicas, gratuitas e de qualidade, entre elas o Instituto Federal de Santa Catarina, especialmente do campus Caçador, o qual garantiu o acesso ao curso superior e à educação de qualidade.

*“No creo que seamos parientes muy cercanos, pero si usted es capaz de temblar de indignación cada vez que se comete una injusticia en el mundo, somos compañeros, que es más importante.”
(Ernesto "Che" Guevara)*

RESUMO

O processo de urbanização ocorrido nos últimos anos trouxe algumas dificuldades para sociedade, entre elas a falta de mobilidade urbana. Diante desse contexto, surge a necessidade de buscar vias dinâmicas e mais sustentáveis para garantir a melhoria da mobilidade nas grandes cidades. Esse trabalho tem por objetivo, propor rotas de transporte coletivo urbano para atender os estudantes, servidores e demais pessoas da comunidade que necessitam de deslocar para o Instituto Federal de Santa Catarina, campus Caçador, através da utilização do modelo matemático de roteirização de veículos e do desenvolvimento matemático no software GAMS IDE. Para desenvolvimento da pesquisa, foi realizada a coleta de dados e posteriormente uma análise criteriosa para definição dos principais pontos, visando sempre a menor distância. Com a utilização do software foi possível propor rotas da forma mais otimizada, garantindo que nenhum ponto fosse visitado por mais de um veículo. O método mostrou-se eficaz em atingir as restrições propostas e com a utilização do mesmo, foi possível propor três rotas para o período diurno e duas rotas para o período noturno, garantindo com uma futura implementação o acesso à mobilidade e à educação. Viu-se ainda a necessidade de propor um conjunto de rotas aplicado a atual empresa de transporte de Caçador, a Auto Coletivo, com essa aplicação foi possível criar um novo conjunto de rotas visando otimizar o transporte e garantir a melhor solução para atender as necessidades da comunidade acadêmica.

Palavras-Chave: Roteirização de Veículos; Mobilidade; Caixeiro Viajante;

ABSTRACT

The urbanization process that took place in recent years has brought some difficulties to society, including the lack of urban mobility. Given this context, there is a need to seek dynamic and more sustainable ways to ensure improved mobility in large cities. This work aims to propose urban public transport routes to serve students, employees and other people in the community who need to travel to the Federal Institute of Santa Catarina, Caçador campus, through the use of the mathematical model of vehicle routing and the mathematical development in GAMS IDE software. For the development of the research, data collection was carried out and later a careful analysis was made to define the main points, always aiming at the shortest distance. With the use of the software, it was possible to propose routes in the most optimized way, ensuring that no point was visited by more than one vehicle. The method proved to be effective in achieving the proposed restrictions and with its use, it was possible to propose three routes for the daytime period and two routes for the night period, guaranteeing access to mobility and education with a future implementation. It was also seen the need to propose a set of routes applied to the current transport company of Caçador, Auto Coletivo, with this application it was possible to create a new set of routes aiming to optimize the transport and guarantee the best solution to meet the needs of the academic community.

Keywords: Vehicle Routing; Mobility; Traveling Salesman;

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 – Localização do Município de Caçador em Santa Catarina
- Figura 2 – Localização do Instituto Federal de Santa Catarina - Câmpus Caçador
- Figura 3 – Passos para a coleta de dados
- Figura 4 – Pontos de coleta diurno
- Figura 5 – Pontos de coleta noturno
- Figura 6 – Modelo de programação diurno GAMS parte 1
- Figura 7 – Modelo de programação diurno GAMS parte 2
- Figura 8 – Modelo de programação noturno GAMS parte 1
- Figura 9 – Modelo de programação noturno GAMS parte 2
- Figura 10 – Mapa rota diurno 1
- Figura 11 – Mapa rota diurno 2
- Figura 12 – Mapa rota diurno 3
- Figura 13 – Mapa rota noturno 1
- Figura 14 – Mapa rota noturno 2
- Figura 15 – Modelo de programação diurno garagem GAMS parte 1
- Figura 16 – Modelo de programação diurno garagem GAMS parte 2
- Figura 17 – Modelo de programação noturno garagem GAMS parte 1
- Figura 18 – Modelo de programação noturno garagem GAMS parte 2
- Figura 19 - Mapa rota diurno garagem 1
- Figura 20 - Mapa rota diurno garagem 2
- Figura 21 - Mapa rota diurno garagem 3
- Figura 22 - Mapa rota noturno garagem 1
- Figura 23 - Mapa rota noturno garagem 2

LISTA DE QUADROS

- Quadro 1 – Distribuição dos modos de transporte
- Quadro 2 – Classificação dos Problemas de Roteirização de Veículos (PRV)
- Quadro 3 – Agrupamento de endereços - demanda diurna
- Quadro 4 – Agrupamento de endereços - demanda noturna
- Quadro 5 – Matriz de distâncias - demanda diurna
- Quadro 6 – Matriz de distâncias - demanda noturna
- Quadro 7 – Conjunto de rotas ótimas para diferentes quantidades de veículos - demanda diurna
- Quadro 8 – Conjunto de rotas ótimas para diferentes quantidades de veículos - demanda noturna
- Quadro 9 – Rota diurno 1
- Quadro 10 – Distâncias diurno 1
- Quadro 11 – Rota diurno 2
- Quadro 12 – Distâncias diurno 2
- Quadro 13 – Rota diurno 3
- Quadro 14 – Distâncias diurno 3
- Quadro 15 – Rota noturno 1
- Quadro 16 – Distâncias noturno 1
- Quadro 17 – Rota Noturno 2
- Quadro 18 – Distâncias noturno 2
- Quadro 19 – Matriz de distâncias com a adição da Auto Coletivo - demanda diurna
- Quadro 20 – Matriz de distâncias com a adição da Auto Coletivo - demanda noturna
- Quadro 21 – Conjunto de rotas ótimas para diferentes quantidades de veículos com partida da Garagem para o IFSC - demanda diurna
- Quadro 22 – Conjunto de rotas ótimas para diferentes quantidades de veículos com partida da Garagem para o IFSC - demanda noturna
- Quadro 23 – Rota diurno garagem 1
- Quadro 24 – Rota diurno garagem 2
- Quadro 25 – Rota diurno garagem 3
- Quadro 26 – Rota noturno garagem 1
- Quadro 27 – Rota noturno garagem 2

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 –	23
Equação 2 –	24
Equação 3 –	24
Equação 4 –	24
Equação 5 –	24
Equação 6 –	24
Equação 7 –	24
Equação 8 –	24
Equação 9 –	34
Equação 10 –	34
Equação 11 –	34
Equação 12 –	34
Equação 13 –	34
Equação 14 –	34
Equação 15 –	34
Equação 16 –	35
Equação 17 –	35
Equação 18 –	35
Equação 19 –	35
Equação 20 –	35
Equação 21 –	35

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CONAE – Conferência Nacional de Educação

CPP – Problema do Carteiro Chinês

EJA – Educação de Jovens e Adultos

IBAM – Instituto Brasileiro de Administração Municipal

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IFSC – Instituto Federal de Santa Catarina

LDB – Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional

MTSP – Múltiplos Caixeiros Viajantes

ONU – Organização das Nações Unidas

PCV – Problema do Caixeiro Viajante

PNE – Plano Nacional de Educação

PRV – Problemas de Roteirização de Veículos

LISTA DE SÍMBOLOS

Σ	Somatório
$=$	Igual
\leq	Menor igual
\neq	Diferente
$+$	Adição
$-$	Subtração
\in	Pertence
\geq	Maior igual
\forall	Para todo

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1.1 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO	12
1.2 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA	13
1.3 OBJETIVOS	15
1.3.1 Objetivo Geral	15
1.4.2 Objetivos específicos	15
1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	15
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1 MOBILIDADE URBANA	17
2.2 PROBLEMAS DE ROTEIRIZAÇÃO DE VEÍCULOS	21
2.2.1 Classificação dos Problemas de Roteirização de Veículos	22
2.2.1.1 Problema do caixeiro viajante	22
2.2.1.2 Problema de múltiplos caixeiros viajantes	22
2.2.1.3 Problema do carteiro chinês	23
2.2.2 Formulação Matemática do PCV	23
3. METODOLOGIA	25
3.1 CARACTERÍSTICAS DA PESQUISA	25
3.2 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	26
4. RESULTADOS	29
4.1 COLETA E ANÁLISE DE DADOS	29
4.1.1 Matriz de distâncias	31
4.2 MODELAGEM MATEMÁTICA PROPOSTA	33
4.3 VALIDAÇÃO E APLICAÇÃO DO MODELO	35
4.4 ROTAS PROPOSTAS	39
4.4.1 Rotas propostas para a Auto Coletivo de Caçador	48
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	59
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61
APÊNDICE	64

1. INTRODUÇÃO

O crescimento urbano desordenado no país tem ocasionado dificuldades em organizar um planejamento eficiente de mobilidade nas cidades, prejudicando tanto o deslocamento de pessoas como o transporte de mercadorias. Segundo as projeções da Organização das Nações Unidas (ONU, 2018), para o ano 2050, cerca de 68% da população mundial será urbana. Esse contexto impacta na sociedade como um todo causando poluição, congestionamentos, acidentes, entre outras dificuldades. E as pessoas que mais sentem os impactos são as mais pobres, pois vivem nas regiões mais distantes dos centros urbanos e acabam encontrando mais dificuldades em deslocar-se.

Esse processo de urbanização, segundo Magagnin e Silva (2008), vem causando um crescimento urbano desordenado, provocado pela dispersão espacial, o aumento excessivo na utilização do automóvel, a falta de infraestrutura dos centros urbanos, entre outras dificuldades.

Diante desse contexto, é essencial buscar vias mais sustentáveis e dinâmicas para auxiliar no processo de deslocamento da população construindo uma mobilidade urbana sustentável. Portanto, neste trabalho busca-se implementar um modelo matemático para roteirização do transporte público com destino ao Instituto Federal de Santa Catarina, campus Caçador, propondo dois conjuntos de rotas para atender as demandas diurnas e noturnas de alunos, servidores e terceirizados que utilizam o transporte público ou que passariam a utilizá-lo. Para Cunha (2000), a roteirização é o recurso que determina o roteiro, bem como o sequenciamento dos pontos de paradas dispersos geograficamente que um veículo deve seguir.

A mobilidade é entendida como “um elemento norteador é fundamental para o desenvolvimento, não só no que diz respeito aos deslocamentos dentro do espaço urbano, mas também porque tende a contribuir de forma acentuada para a qualidade de vida na cidade” (SILVA FILHO; RAIÁ JR, 2013). No entanto, hoje a população encontra dificuldades no acesso ao transporte público, principalmente para acesso a áreas mais remotas, sendo esse um problema de falta de políticas públicas vinculadas à mobilidade.

Apesar de Caçador já contar com transporte coletivo urbano, as linhas ofertadas ainda não atendem às necessidades da população. Com relação a linhas de ônibus com destino ao Instituto Federal de Santa Catarina IFSC - Câmpus Caçador, o acesso é muito limitado e não tem atendido com qualidade às necessidades dos alunos, servidores e demais população que necessitam desse transporte. Além disso, os horários do transporte não são condizentes com o horário de início e término das aulas e a maioria dos ônibus não passam pela instituição. Talvez um dos fatores para essa falta de transporte público seja a localização da instituição. Diante dessas dificuldades em relação ao transporte público urbano, percebeu-se a necessidade de criação de uma proposta de roteirização, com sugestões que atendesse a demanda dos acadêmicos, servidores, trabalhadores e comunidade em geral.

1.1 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO

O município de Caçador fica localizado na região Meio Oeste, estado de Santa Catarina e na região Sul do Brasil. Com uma população estimada em 74.276 habitantes, conforme dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Caçador é o 15º município mais populoso do estado de Santa Catarina.

Figura 1 – Localização do Município de Caçador em Santa Catarina



Fonte: Engenharia de Produção PPC - Projeto pedagógico do curso

Localizado na cidade de Caçador, o Instituto Federal de Santa Catarina, campus Caçador, fica localizado na Av. Fahdo Thomé, 3000 - Champagnat, conforme Figura 1. Se analisada a Figura 2 é possível notar que a instituição fica localizada em uma área mais remota da cidade, sendo possivelmente de difícil acesso.

Figura 2 – Localização do IFSC - Câmpus Caçador



Fonte: Autor

Segundo dados do site do IFSC, a instituição de ensino de Caçador conta com cerca de mil de duzentos alunos matriculados e conta com cursos de qualificação profissional, idiomas, técnicos, graduação e Educação de Jovens e Adultos (EJA) nas áreas de Administração, Informática e Plásticos. Também é pólo de oferta de cursos de pós-graduação a distância.

1.2 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

Devido ao crescimento populacional dos últimos anos, a importância da preocupação com a mobilidade urbana vem aumentando muito nos últimos anos. No Brasil, a taxa de urbanização já chega ao percentual de 84,3%, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010).

Nesse contexto é importante definir a importância do acesso à educação, sendo que na Constituição da República Federativa do Brasil de 1988, o direito à educação se encontra em seu artigo 6º, no Capítulo dos Direitos Sociais.

Segundo o Eixo 1 do Plano Nacional de Educação 2011-2020 estabelecido pela Conferência Nacional de Educação CONAE (2010) é dever do Estado a garantia do direito à educação de qualidade, estabelecido na Constituição Brasileira de 1988, na Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB/1996) e no Plano Nacional de Educação (PNE 2001-2010), considerado direito social e com estatuto de direito humano consignado na Declaração Universal dos Direitos Humanos de 1948 e no Pacto Internacional de Direitos Sociais Econômicos e Culturais de 1966.

O pacto Internacional dos Direitos Econômicos, Sociais e Culturais, promovido pela Organização das Nações Unidas – ONU – em 1966, e promulgado pelo Decreto 591/1992 reitera que:

Artigo 13 - 1 que os Estados-partes no presente Pacto reconhecem o direito de toda pessoa à educação. Concordam em que a educação deve visar ao pleno desenvolvimento da personalidade humana e do sentido de sua dignidade e a fortalecer o respeito pelos direitos humanos e liberdades fundamentais. Concordam ainda que a educação deverá capacitar todas as pessoas a participar efetivamente de uma sociedade livre, favorecer a compreensão, a tolerância e a amizade entre todas as nações e entre todos os grupos raciais, étnicos ou religiosos e promover as atividades das Nações Unidas em prol da manutenção da paz. (BRASIL, 1992).

Para que se tenha a garantia do direito à educação é extremamente importante que seja garantido o acesso a mesma. Com isso, é importante enfatizar a importância da acessibilidade, a qual permite o acesso dos indivíduos aos locais de empregos, estudo, lazer, equipamentos públicos, etc., e varia em função do uso do solo e das características do sistema de transporte (RAIA JR.; SILVA; BRONDINO, 1997).

Devido ao fato de a prefeitura da cidade não possuir linhas destinadas à instituição condizentes com os horários de início e término das aulas, viu-se a necessidade de propor rotas que atendessem a necessidade da comunidade acadêmica e demais trabalhadores de deslocamento para a instituição, com menor custo possível, visando tentar tornar viável a operacionalização de tais rotas pela empresa fornecedora.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é o de propor dois conjuntos de rotas otimizadas de transporte coletivo, um para o público diurno e outro para o noturno, por meio de um modelo matemático de roteirização, visando tornar o trajeto mais atrativo operacionalmente, contribuindo para o atendimento da demanda de alunos, servidores e terceirizados que utilizam o transporte público ou que passariam a utilizá-lo com destino ao IFSC câmpus Caçador.

1.4.2 Objetivos específicos

- Realizar uma revisão bibliográfica sobre os temas buscando elencar uma base de informações para propor alternativa do problema em questão;
- Formular as restrições para que o modelo represente a realidade da melhor maneira possível;
- Analisar os dados coletados e a partir deles construir um modelo de programação;
- Propor a inclusão de rotas para melhoria do acesso ao IFSC através do transporte coletivo;
- Propor um conjunto de rotas aplicado a Auto Coletivo, atual empresa de transporte público de Caçador.

1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Esse trabalho é constituído por 5 capítulos no qual o primeiro faz uma introdução aos principais temas e justifica da aplicação desse estudo, além de demonstrar a delimitação do estudo e os objetivos deste trabalho.

O segundo capítulo consiste em uma contextualização através de uma pesquisa bibliográfica elencando os principais tópicos para base no desenvolvimento deste trabalho, como, a contextualização do transporte urbano no Brasil e seus principais modais, entender o contexto de roteirização de veículos e definir o modelo matemático.

O capítulo posterior consiste em definir as principais metodologias adotadas na execução do trabalho sendo caracterizada por um levantamento de

dados que serão utilizados posteriormente para realizar a caracterização da distribuição que será utilizada para calcular a rota, a avaliação do modelo através de uma aplicação matemática. Para finalizar, no capítulo 5 são descritas as considerações finais.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo serão apresentadas algumas definições tendo como base a fundamentação teórica da área para dar sustentação à construção de uma proposta de roteirização do transporte público, com a intencionalidade de contribuir com a mobilidade urbana proposta neste trabalho.

2.1 MOBILIDADE URBANA

A questão da mobilidade urbana ainda é um problema que deveria ser priorizado em nosso país. Atrelada a essa mobilidade está a organização e investimento no transporte público. De acordo com Munck (2019), historicamente, as políticas públicas acabaram incentivando a indústria do automóvel (transporte individual) em detrimento do transporte coletivo e esse processo resultou na situação atual, caracterizada pelo tempo inadequado para o deslocamento das pessoas nas atividades cotidianas, pela poluição, pelo *stress* que afeta a saúde, entre outros, que se refletem na perda de produtividade da economia e na deterioração da qualidade de vida das populações.

Promover adequada mobilidade para todas as classes sociais, para o desenvolvimento das atividades comerciais, industriais e recreativas, constitui processo essencial para o desenvolvimento econômico e social das cidades (FERRAZ e TORRES, 2004). Para isso, é necessário entender o conceito de mobilidade urbana. Segundo o IBAM – Instituto Brasileiro de Administração Municipal (2005), mobilidade urbana é definida como:

É um conjunto estruturado de modos, redes e infraestruturas que garante o deslocamento das pessoas na cidade e que mantém fortes interações com as demais políticas urbanas. Considerando que a característica essencial de um sistema é a interação de suas partes e não as performances dos seus componentes tomadas em separado, um fator determinante na performance de todo o sistema é exatamente como as suas partes se encaixam, o que é diretamente relacionado com o nível de interação e compatibilidade entre agentes e processos intervenientes no sistema (MACÁRIO, apud IBAM, 2005).

Pontes (2010) afirma que a mobilidade está relacionada com a capacidade de deslocamento, a qual é determinada pela oferta de modos de transportes, localização das atividades, condições físicas e financeiras, crescimento da cidade e expansão dos sistemas de comunicação.

Com o grande crescimento desordenado nas grandes cidades devido a evasão da população do campo para os grandes centros, a mobilidade urbana acabou se tornando uma dificuldade para a população. Esse contexto fez com que o Governo Federal regulamentasse a questão da mobilidade urbana, prevista como direito na Constituição de 1988 e criasse uma legislação específica e desse início a programas de incentivo a obras de mobilidade urbana em todas as regiões do Brasil.

Em 2003 é criado o Ministério das Cidades¹, que tinha/tem como função combater as desigualdades sociais e regionais, buscando melhorar o ambiente das cidades tornando-os mais humanizados com a ampliação e melhor qualificação do acesso ao transporte, à moradia, ao saneamento e à habitação.

Tentando buscar alternativas na resolução desse problema, criou-se o Estatuto das Cidades (Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001), em que define algumas competências da União, entre elas:

“... II - Legislar sobre normas para a cooperação entre a União, os Estados, o Distrito Federal e os Municípios em relação à Política Urbana, tendo em vista o equilíbrio do desenvolvimento e do bem-estar em âmbito nacional;

III - Promover, por iniciativa própria e em conjunto com os Estados, o Distrito Federal e os Municípios, programas de construção de moradias e melhoria das condições habitacionais, de saneamento básico, das calçadas, dos passeios públicos, do mobiliário urbano e dos demais espaços de uso público;

IV - Instituir diretrizes para desenvolvimento urbano, inclusive habitação, saneamento básico, transporte e mobilidade urbana, que incluam regras de acessibilidade aos locais de uso público. ”

Sendo uma das competências a questão de transporte e mobilidade urbana, tornar mais atrativo o transporte público coletivo, traz, tanto a questão ambiental à tona, quanto a própria mobilidade. Os impactos ambientais causados

¹ O Ministério das Cidades foi fundido com o Ministério da Integração Nacional na criação do Ministério do Desenvolvimento Regional, conforme Medida Provisória nº 870, de 1º de janeiro de 2019.

pelos meios de transporte são duplos: diretos, pela participação na poluição atmosférica, sonora e na utilização de fontes de energia não renováveis; e indiretos, na incidência de acidentes de trânsito e na saturação da circulação urbana (BRASIL, 2007).

Para pensar a mobilidade urbana faz-se necessário conhecer os sistemas de transporte e seu funcionamento. A seguir apresenta-se alguns elementos referentes a esse sistema.

2.1.1 Transporte urbano no Brasil

Larica (2003) apresenta transporte como uma atividade funcional, que é a capacidade de deslocar-se de um referencial para outro por meios mecânicos, com a máxima conveniência e mínimo desconforto associada com uma atividade, de forma agradável e prazerosa.

Os transportes podem ser divididos quanto à propriedade, sendo divididos em privado, público ou semi-público, cada um com suas características e exemplos apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 - Distribuição dos modos de transporte

Modo de Transporte	Características	Exemplos
Privado ou individual	Veículo conduzido por um de seus usuários Flexibilidade de itinerário e horário de partida Transporte porta a porta Pequena capacidade de transporte de passageiros	A pé Bicicleta Motocicleta Carro
Público, coletivo ou de massa	Veículo pertence geralmente a uma empresa Horários de partida, itinerários e postos de embarque fixos Transporte não é de porta a porta	Ônibus Metro Trem suburbano
Semi-público	Veículo pertence a empresa ou indivíduo Horários de partida, itinerários e postos de embarque adaptáveis Características intermediárias entre transporte público e privado	Taxi Moto táxi Lotação

Fonte: Ferraz e Torres (2004)

Segundo Larica (2003), os sistemas de transportes subdividem-se em duas categorias independente do meio de suporte. A primeira, quanto ao modo de uso em: (a) transporte individual, que, serve para atender ao usuário sendo este proprietário e/ou condutor do veículo no seu deslocamento; (b) transporte coletivo, que é utilizado para servir ao interesse comum de um grupo de indivíduos; (c)

transporte de grandes volumes, que serve para atender as necessidades de uma grande quantidade de pessoas, segundo rotas e horários programados e divulgados; e (d) transporte de carga, que serve para atender as demandas do comércio de mercadorias com o deslocamento de cargas interna ou externamente ao país de origem. A segunda categoria quanto ao meio de suporte em rodoviário, ferroviário, aeroviário e aquaviário.

Segundo a lei nº 12.587, de 3 de janeiro de 2012 (BRASIL,2012) que instituiu as diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana, são considerados modos de transporte urbano os motorizados e não motorizados. Quanto a sua classificação os serviços de transporte urbano são definidos da seguinte forma: quanto ao objeto (passageiros ou carga); à característica do serviço: (coletivo ou individual) e à natureza do serviço (público ou privado). Ainda na lei nº 12.587 é definido como infraestrutura de mobilidade urbana: vias e demais logradouros públicos, inclusive metroferrovias, hidrovias e ciclovias; estacionamentos; terminais, estações e demais conexões; pontos para embarque e desembarque de passageiros e cargas; sinalização viária e de trânsito; equipamentos e instalações; e instrumentos de controle, fiscalização, arrecadação de taxas e tarifas e difusão de informações.

Segundo as diretrizes da lei do (Ministério das Cidades, 2013) quanto à Política Nacional de Mobilidade urbana podemos destacar:

Integração com a política de desenvolvimento urbano e respectivas políticas setoriais de habitação, saneamento básico, planejamento e gestão do uso do solo no âmbito dos entes federativos; Prioridade dos modos de transportes não motorizados sobre os motorizados e dos serviços de transporte público coletivo sobre o transporte individual motorizado; Integração entre os modos e serviços de transporte urbano;(MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2013, p.8).

Sendo uma das prioridades o transporte público buscar formas de torná-lo mais atrativo é algo extremamente importante para a melhoria da mobilidade urbana. Entre as várias alternativas, o transporte público por ônibus apresenta-se como uma boa opção para conter o crescente uso do automóvel, pois ajudaria na redução dos congestionamentos, poluição, acidentes, redução do consumo de energia, além de promover a ocupação racional do solo urbano (FERRAZ E TORRES, 2004).

Dentre os atributos considerados importantes para a utilização de ônibus,

podem ser citados: (i) acesso ao transporte, facilidade de chegar aos pontos de acesso e circulação; (ii) disponibilidade, intervalo de tempo entre os ônibus nos horários e locais demandados; (iii) rapidez no deslocamento; (iv) confiabilidade, chegada no horário previsto (v) atendimento ao cliente, respeito, cordialidade e preparo dos motoristas, cobradores, funcionários e central de atendimento; (vi) segurança pública contra roubos, furtos e agressões no caminho e dentro dos ônibus; (vii) facilidade para pagar, tarifa e recarregar o cartão de transporte e (viii) gasto com transporte coletivo por ônibus (EMBARQ Brasil, 2014).

2.2 PROBLEMAS DE ROTEIRIZAÇÃO DE VEÍCULOS

CHRISTOFIDES (1985) define o problema básico de roteirização de veículos como o problema de distribuição, no qual veículos localizados em um depósito central devem ser programados para visitar clientes geograficamente dispersos, de modo a atender a suas demandas conhecidas. As restrições mais usuais do problema estão relacionadas às capacidades dos veículos.

Segundo Bodin et al. (1983), a maioria dos problemas combinados de roteirização e programação, ou simplesmente problemas de roteirização e programação, ocorrem em situações em que estão presentes restrições de janelas de tempo (horário de atendimento) e de precedência entre tarefas (coleta deve preceder a entrega e ambas devem estar alocadas ao mesmo veículo).

De acordo com BELFIORE (2006), os problemas de roteirização de veículos podem ser classificados em diversas categorias e tipos. Os vários problemas diferem entre si em aspectos relacionados ao tipo de operação, ao tipo de carga, ao tipo de frota utilizada, à localização dos clientes, aos tipos de restrições, ao tipo de função objetivo e vários outros fatores.

Quadro 2 – Classificação dos Problemas de Roteirização de Veículos (PRV)

Classe	Parâmetro	Tipos
Objetivos da função	Função-objetivo	<ul style="list-style-type: none"> • Minimizar a distância total percorrida • Minimizar a duração das rotas • Minimizar o número de veículos • Minimizar os custos totais de distribuição

	Restrições dos veículos	<ul style="list-style-type: none"> • Limite de capacidade dos veículos • Limite com relação ao tipo de carga dos veículos • Número e tipo de veículos disponíveis • Operação de carga e descarga dos veículos
Restrições	Restrições dos clientes	<ul style="list-style-type: none"> • Janelas de tempo dos clientes • Limite com relação ao tipo de carga ou tipo de veículo • Clientes prioritários • Atendimento total ou parcial das demandas • Tempo máximo permitido para carga e descarga
	Restrições de rotas	<ul style="list-style-type: none"> • Horários de início e término das viagens • Tempo máximo de viagem de um veículo • Distância máxima percorrida • Locais de parada
Variáveis de decisão	Decisões tomadas	<ul style="list-style-type: none"> • Roteiro a ser percorrido por cada veículo • Qual veículo é designado para cada cliente • Qual a quantidade de carga transportada para cada cliente da rota • Tempo de início de atendimento do primeiro cliente da rota

Fonte: Adaptado de Belfiore (2005)

2.2.1 Classificação dos Problemas de Roteirização de Veículos

Essa seção apresenta os tipos de roteirização de veículos mais utilizados, baseada na classificação de Bodin et al.(1983)

2.2.1.1 Problema do caixeiro viajante

O Problema do Caixeiro Viajante (PCV) é um dos mais conhecidos e estudados problemas de programação matemática (COLIN, 2013) e tem grande importância, sendo considerado um clássico exemplo de otimização combinatória. Consiste em um problema que determina a menor rota entre vários pontos, o problema do caixeiro viajante deve visitar cada ponto exatamente uma vez e então retornar ao ponto inicial (WOLSEY, 1998)

2.2.1.2 Problema de múltiplos caixeiros viajantes

Segundo BELFIORE (2006), o problema de Múltiplos Caixeiros Viajantes (MTSP) é uma extensão do problema do caixeiro viajante, porém, ao invés de um

único roteiro, determinam-se múltiplos roteiros com menor custo possível, de forma que cada caixeiro viajante deve visitar pelo menos um nó da rede, e cada nó deve ser visitado uma única vez. O problema é baseado em um único depósito e o veículo deve sair e retornar à mesma base. Funciona de forma parecida com o caixeiro viajante com a diferença de que vários roteiros podem ser estabelecidos.

2.2.1.3 Problema do carteiro chinês

De acordo com BELFIORE (2006), o Problema do Carteiro Chinês (CPP) é uma variação do problema do caixeiro viajante, porém, ao invés de nós, os clientes estão localizados em arcos. Também consiste em um único roteiro como o caixeiro viajante com a diferença que os clientes estão localizados em arcos como descrito pelo autor.

2.2.2 Formulação Matemática do PCV

Para Lisboa (2002), a modelagem matemática serve para representar a realidade de problemas que já existem, como o funcionamento de um sistema que necessite de aprimoramentos. Também é utilizada para simular no papel ou computacionalmente projetos que requerem estudo prévio antes de sua execução, a fim de definir a melhor estrutura para o mesmo

De forma genérica, a variável de decisão pode ser descrita da seguinte maneira:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{se a cidade } j \text{ é alcançada a partir da cidade } i \\ 0, & \text{caso o contrário} \end{cases} \quad (1)$$

Assim, com a binaridade de x_{ij} estabelecida, onde i e j correspondem às cidades e c_{ij} a distância entre elas tem-se o seguinte modelo, formulado por Nemhauser e Wosley (1988):

Minimizar

$$Z = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n c_{ij} x_{ij} \quad (2)$$

Sujeito à

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1 \quad \forall j, j \neq i \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1 \quad \forall j, j \neq j \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n x_{ij} = n \quad \forall j : j \neq i \quad (5)$$

$$u_i - u_j + nx_{ij} \leq n - 1 \quad \forall i \text{ e } \forall j \quad (6)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i, j \in V \quad (7)$$

$$u_i \geq 0 \quad \forall i, j \in V \quad (8)$$

A equação (1) representa as variáveis de decisão, a equação (2) representa a função objetivo que minimiza a distância total percorrida. As restrições (3) garantem que a rota de chegada em cada cidade seja única, as restrições (4) afirma que para cada cidade existe apenas uma rota de saída. As equações (5) e (6) garantem que não devem existir sub-rotas, onde a variável é auxiliar e não têm significado físico. As restrições (7) e (8) definem o tipo das variáveis.

3. METODOLOGIA

3.1 CARACTERÍSTICAS DA PESQUISA

A pesquisa qualitativa dispensa o uso de instrumental estatístico como base de análise de um problema, pois como explica Mattar (2005), enquanto a pesquisa quantitativa procura medir o grau em que algo está presente, a pesquisa qualitativa identifica a presença ou ausência de algo. Nesse sentido a abordagem dessa pesquisa é quali-quantitativa, que segundo Deslandes (1994) os dados quantitativos e qualitativos não se opõem, mas se complementam, pois, a realidade abrangida pelas duas abordagens interagem dinamicamente. Portanto, além dos dados coletados de forma quantitativa é necessário construir uma análise qualitativa sobre seus resultados na qual engloba tanto a pesquisa quantitativa com uma análise de demanda através de questionário, quanto qualitativa através de informações coletadas no questionário com endereços para proposta de roteirização.

Em relação à finalidade da pesquisa, normalmente são divididas em aplicada e básica. De acordo com Prodanov e Freitas (2013), a pesquisa aplicada objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática dirigidos à solução de problemas específicos. Nesse sentido, esse trabalho tem o objetivo de propor rotas específicas para resolução de um problema, sendo assim caracterizado com a finalidade aplicada. Além disso, por se tratar de uma pesquisa na qual, será realizada uma coleta de dados, se torna uma pesquisa exploratória, a qual, tem por objetivo coletar e analisar dados.

Segundo a Resolução Nº 7 do ministério da educação (BRASIL, 2018) extensão na educação superior brasileira é a atividade que se integra à matriz curricular e à organização da pesquisa, constituindo-se em processo interdisciplinar, político educacional, cultural, científico, tecnológico, que promove a interação transformadora entre as instituições de ensino superior e os outros setores da sociedade, por meio da produção e da aplicação do conhecimento, em articulação permanente com o ensino e pesquisa. Visando promover a interação entre a sociedade e o IFSC é necessária a aplicação da extensão.

O procedimento da pesquisa utilizado foi o pesquisa-ação, o qual, segundo Thiollent (1985) pode ser definido como um tipo de pesquisa com base empírica

que é realizada em associação com uma ação ou com uma resolução de um problema coletivo em que os pesquisadores e participantes se envolvem de modo cooperativo ou participativo. Nesse sentido, devido ao fato de se tratar de uma coleta de dados com objetivo de propor uma roteirização visando a locomoção para o IFSC Câmpus Caçador, está claro a importância de uma resolução de problema coletivo.

3.2 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Inicialmente foi realizada uma revisão bibliográfica dos principais assuntos abordados na pesquisa. Foi necessária uma breve contextualização sobre os transportes públicos e a mobilidade urbana. Além disso, a revisão literária referente aos modelos matemáticos utilizados na roteirização de veículos para que fosse realizada a contextualização dos principais assuntos da pesquisa.

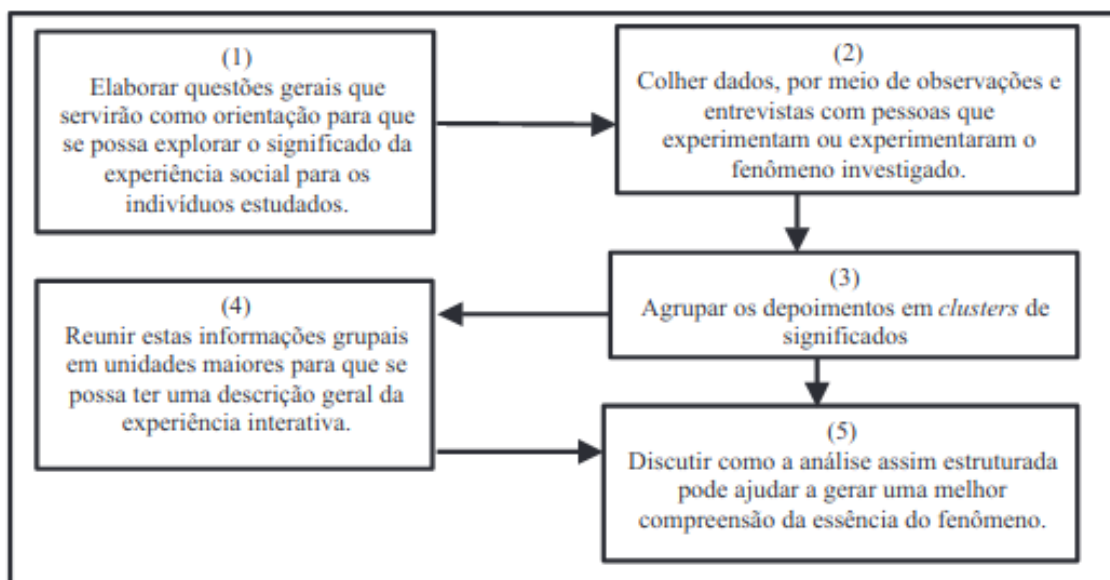
Posteriormente para o desenvolvimento do estudo foi realizada entrevista semiestruturada através de questionário, o qual está contido no apêndice, com o grupo de estudo caracterizado pelos alunos e servidores do Instituto Federal de Santa Catarina campus Caçador, visando coletar dados de demanda. Para a coleta de dados foi utilizada a pesquisa de campo a qual, segundo GONSALVES (2001, p.67),

A pesquisa de campo é o tipo de pesquisa que pretende buscar a informação diretamente com a população pesquisada. Ela exige do pesquisador um encontro mais direto. Nesse caso, o pesquisador precisa ir ao espaço onde o fenômeno ocorre, ou ocorreu e reunir um conjunto de informações a serem documentadas [...].

Nesse sentido, é de extrema importância a seleção dos sujeitos da pesquisa a qual foi definida pela pesquisadora como profissionais que trabalham na instituição e alunos dos cursos presenciais.

A seguir na Figura 3 temos os passos para realização da coleta e análise dos dados.

Figura 3 - Passos para a coleta de dados



Fonte: Carvalho e Vergara, 2002, p. 84

Para o processo de análise e interpretação dos dados, é de extrema importância o entendimento desse processo, que consiste em um conjunto de instrumentos metodológicos, o qual tem por objetivo analisar o material qualitativo buscando a interpretação da melhor forma possível, extraindo os aspectos mais relevantes.

A análise tem como objetivo organizar e sumariar os dados de tal forma que possibilitem o fornecimento de respostas ao problema proposto para investigação. Já a interpretação tem como objetivo a procura do sentido mais amplo das respostas, o que é feito mediante sua ligação a outros conhecimentos anteriormente obtidos (GIL, 1999, p. 168).

Com esse entendimento será possível realizar a interpretação dos dados, para posteriormente atingir os objetivos deste estudo.

Após a coleta de dados foi realizada a tabulação dos mesmos, onde foi necessário encontrar os pontos de ônibus mais próximos aos endereços levantados através da coleta de dados do apêndice. Para realizar o processo de tabulação de dados foi necessário calcular a distância de cada ponto para todos os pontos criando assim uma matriz de dados que seria posteriormente aplicada no software. Para aplicação no software foi utilizado o modelo de programação desenvolvido por Kalvelagen (2009), no qual foram realizadas algumas adaptações para encontrar a melhor proposta de rotas possível para os pontos

levantados na coleta de dados. Posteriormente foi necessário realizar uma tomada de decisão, no qual ficou definido como o tempo de rota para definir quais conjuntos de rotas seriam utilizados para a solução do problema.

4. RESULTADOS

4.1 COLETA E ANÁLISE DE DADOS

A coleta de dados foi realizada por meio de questionário aplicado à comunidade acadêmica do Instituto Federal de Santa Catarina, campus Caçador via formulário *online*. O formulário contou com 82 respostas e está anexado no apêndice.

Devido ao fato da comunidade acadêmica não residir apenas em Caçador, mas em cidades próximas da região como Videira, Fraiburgo, Rio das Antas, entre outras, foi necessário iniciar o questionário limitando apenas o nosso público com pessoas que residem em Caçador. Das 82 respostas, apenas 6 pessoas responderam que não residem na cidade de Caçador, as quais foram descartadas na análise dos dados.

Posteriormente, foi necessário separar o período letivo dos alunos, onde 29 pessoas responderam que frequentam os cursos noturnos, enquanto 47 pessoas frequentam os cursos diurnos. Além disso, foi necessária a coleta dos endereços dessas pessoas, para que fosse possível realizar o mapeamento dos dados. Todos esses dados foram levantados através do questionário, o qual foi extremamente importante para definir o público e a necessidade do mesmo.

Com esses dados foi localizado o ponto de ônibus já existente mais próximo para cada endereço levantado no questionário, alguns endereços de pontos de ônibus tiveram mais de uma frequência, então foi realizado um agrupamento conforme Quadro 3 e 4.

Quadro 3 – Agrupamento de endereços - demanda diurna

Número	Número de pessoas por ponto	Ponto de ônibus mais próximo
N1	1	1 R. Elias Biasi
N2	2	104 R. Otávio Gonçalves Cordeiro
N3	1	1066 R. Amazonas
N4	2	1174 R. Nelson Eugênio Busato
N5	4	1312 Av. Albino Felipe Potrich
N6	1	1354 R. Luís Tortato
N7	1	1822 Av. Fahdo Thomé
N8	4	1872 R. Curitiba
N9	1	188 R. Paulino Leão
N10	1	192 R. José Oleinik

N11	1	20 R. Alcides Tombini
N12	1	210 R. Antônio Bombassaro
N13	2	265 R. Sen. Salgado Filho
N14	1	271 R. Henrique Júlio Berger
N15	1	28 Av. Albino Felipe Potrich
N16	2	330 R. Luís Tortato
N17	1	344 R. São Francisco de Assis
N18	1	40 R. Izidoro Belotto
N19	1	40 R. Moema
N20	1	510 R. Brasília
N21	1	540 Rod. Pres. Costa e Silva
N22	1	618 R. Alfredo Cachoeira
N23	2	715 R. Abdala João
N24	4	739 R. Benjamin Giopo
N25	2	745 R. Amazonas
N26	4	795 R. Henrique Júlio Berger
N27	1	820 Rod. Osvaldo Olsen
N28	1	Av. Barão do Rio Branco
N29	1	R. José Oleinik, 395 - Martello

Fonte: Autor

Quadro 4 – Agrupamento de endereços - demanda noturna

Número	Número de pessoas por ponto	Ponto de ônibus mais próximo
N1	1	1451 Av. Aristiliano Ramos
N2	1	1607 R. Amazonas
N3	1	1846 Av. Fahdo Thomé
N4	1	188 R. Paulino Leão
N5	1	193 R. Bernardino Deboni
N6	2	221 R. José Giopo
N7	1	222 R. Dr. Altamiro Guimarães
N8	1	265 R. Sen. Salgado Filho
N9	2	344 R. São Francisco de Assis
N10	1	108 R. Antônio Vivan
N11	1	395 Rua Carlos Sperança
N12	2	40 R. Izidoro Belotto
N13	1	510 R. Brasília
N14	1	53 R. Sebastião Velasques
N15	2	540 Rod. Pres. Costa e Silva
N16	2	618 R. Alfredo Cachoeira
N17	1	66 R. Brasília
N18	2	669 R. Antônio Vivan
N19	1	686 Rua Herculano Coelho de Souza
N20	1	74 R. Primeiro de Maio
N21	3	783 R. Henrique Júlio Berger

Fonte: Autor

Após esse agrupamento foi possível reduzir o número de endereços no horário diurno de 29 para 21 pontos e no noturno de 47 para 30 pontos. Com

entre todos os postos a serem visitados, o Quadro 5 e o Quadro 6 apresentam a distância em quilômetros (Km) entre todos os pontos.

Quadro 5 – Matriz de distâncias - demanda diurna

	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11	N12	N13	N14	N15	N16	N17	N18	N19	N20	N21	N22	N23	N24	N25	N26	N27	N28	N29
N0	4,1	7,4	4	6,3	6,8	5,2	1,1	6,3	2,9	6,5	2,4	6,1	3,7	4,1	7,5	4	1,8	3,3	4	4,6	1,4	4,4	6,3	3,8	4,1	4,9	2,3	6,3	6,3
N1		3,7	3,9	2,1	2,6	3,0	3,0	2,8	1,1	1,8	1,7	2,8	1,0	0,3	3,3	1,7	2,1	2,6	1,4	1,1	3,7	2,6	2,2	3,6	0,5	2,8	2,1	2,0	2,0
N2			6,8	4,1	3,5	5,5	6,5	1,1	5,0	3,1	5,5	1,4	4,4	3,8	3,3	4,3	5,9	6,3	3,6	3,0	7,4	6,9	4,7	3,7	8,1	5,6	4,1	5,4	4,4
N3				6,1	6,5	4,5	3,0	5,8	3,3	5,7	3,2	6,3	3,1	3,6	7,2	3,3	2,9	4,4	3,4	4,5	3,5	3,6	4,2	6,1	0,3	4,1	4,3	2,2	5,9
N4					1,5	5,4	5,3	3,9	3,2	1,7	4,0	3,2	3,4	2,4	2,1	4,2	4,7	4,5	3,9	2,7	6,5	5,6	2,6	2,1	5,7	2,4	4,8	4,1	1,8
N5						5,9	5,8	3,7	3,7	1,1	4,5	2,1	4,0	2,9	0,7	4,4	6,1	5,0	3,6	3,0	7,0	6,1	3,1	1,1	6,2	3,0	5,4	4,6	1,0
N6							4,2	4,5	3,7	5,1	3,8	5,1	2,8	2,9	6,5	1,2	3,8	5,1	2,0	3,4	5,0	4,6	3,5	5,3	4,4	3,4	1,8	3,1	5,2
N7								5,2	1,8	5,4	1,2	5,3	2,1	2,7	6,2	3,1	0,8	2,3	3,3	3,6	0,7	0,8	2,8	5,1	2,7	3,0	3,8	1,2	4,9
N8									4,1	3,0	4,7	2,5	3,5	3,1	4,4	3,4	5,0	5,6	2,7	2,1	6,5	5,7	3,5	3,4	5,6	3,4	3,8	4,4	3,2
N9										4,6	0,6	3,9	1,0	1,2	4,4	2,2	1,3	1,9	2,0	2,2	2,5	1,6	1,0	3,4	2,6	1,2	2,9	1,1	3,2
N10											4,5	1,6	2,7	2,1	1,6	3,8	4,7	3,9	3,4	2,0	6,1	5,2	2,4	0,4	5,4	2,2	4,9	3,5	0,2
N11												4,6	1,7	1,8	5,1	2,9	0,9	1,3	2,7	2,9	2,1	1,1	1,6	4,0	2,9	1,9	3,6	1,4	3,8
N12													3,5	3,1	1,9	3,4	5,1	5,4	2,7	2,1	6,6	6,5	3,4	1,3	5,6	3,3	3,8	4,4	1,8
N13														0,7	4,2	1,7	2,2	2,8	1,5	1,4	3,4	2,5	1,2	3,1	3,1	1,1	2,4	1,5	2,9
N14															3,9	1,8	2,4	2,6	1,5	1,3	3,6	2,8	0,6	2,5	3,4	0,5	2,5	1,8	2,3
N15																4,6	5,8	5,7	3,9	3,3	7,1	6,7	3,7	1,5	6,8	3,6	6,1	5,3	1,5
N16																	2,6	3,9	0,8	2,2	3,8	3,4	2,3	4,1	3,0	2,2	1,0	1,8	4,0
N17																		1,5	3,1	3,3	1,4	0,8	2,0	5,1	2,7	2,2	3,9	1,2	4,9
N18																			3,9	3,6	2,9	2,0	2,4	4,3	4,0	2,6	4,7	2,5	4,1
N19																				1,8	3,7	3,3	1,9	3,8	3,2	1,7	1,1	1,9	3,6
N20																					5,0	3,9	1,7	2,3	2,5	1,6	2,6	3,1	1,7
N21																						1,3	3,6	5,9	2,6	3,8	4,6	1,9	5,7
N22																							2,5	5,5	3,2	2,7	4,4	1,8	5,3
N23																								2,8	3,6	0,2	3,1	2,0	2,6
N24																									5,5	2,5	3,6	4,2	0,6
N25																										3,8	4,0	1,9	5,6
N26																											3,0	2,2	2,4
N27																												2,8	5,1
N28																													3,7

Fonte: Autor

Quadro 6 – Matriz de distâncias - demanda noturna

Número	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11	N12	N13	N14	N15	N16	N17	N18	N19	N20	N21	
N0	3,4	4,6	1,1	2,9	6,7	4,2	2,0	3,7	1,8	7,9	2,8	3,3	4,6	6,7	1,4	1,4	4,1	7,4	2,1	4,0	4,1	
N1		2,2	2,3	2,5	4,4	1,5	1,4	1,8	2,1	6,2	1,6	3,9	2,9	4,4	2,9	2,9	2,3	5,3	2,0	2,2	2,6	
N2			3,6	3,8	6,8	3,7	2,7	3,6	3,4	8,3	3,2	5,1	5,0	6,5	4,1	4,1	4,5	7,7	3,2	4,4	4,6	
N3				1,9	5,5	2,8	1,0	2,2	0,8	6,9	1,7	2,5	3,6	5,7	0,7	0,8	3,0	6,4	1,0	2,9	3,0	
N4					4,6	2,0	1,8	1,0	1,3	5,5	0,9	2,2	2,2	3,2	2,6	1,6	1,9	5,3	1,9	1,8	1,2	
N5						3,0	5,6	3,7	5,2	1,5	4,2	6,1	2,3	3,0	6,2	5,7	2,4	0,9	5,3	3,2	3,4	
N6							2,2	1,5	2,8	4,3	1,3	4,2	1,7	2,8	3,6	3,3	1,6	3,7	2,8	0,9	2,0	
N7								2,4	1,1	6,2	1,9	2,9	3,9	5,1	1,4	1,7	3,5	6,0	0,6	2,5	3,0	
N8									2,0	4,7	0,4	3,3	2,2	3,5	2,8	2,5	1,6	4,4	2,0	0,9	1,5	
N9										6,5	1,7	2,4	3,6	5,3	1,5	1,0	3,0	5,9	0,9	2,5	2,5	
N10											4,4	5,9	2,5	2,3	6,9	6,1	2,7	0,6	5,7	2,9	3,6	
N11												2,7	1,8	3,3	2,8	2,2	1,3	4,6	2,0	1,2	1,4	
N12													4,0	4,6	3,3	2,4	3,6	7,5	3,0	3,6	3,0	
N13														1,8	4,8	3,9	1,2	3,3	4,1	1,4	1,6	
N14															6,2	5,3	2,4	4,1	5,3	2,6	2,5	
N15																1,3	3,8	7,1	0,9	3,7	3,8	
N16																	3,4	7,6	1,7	3,3	2,8	
N17																		3,4	3,6	0,7	1,0	
N18																			6,5	3,5	4,2	
N19																				2,8	3,0	
N20																						1,3

Fonte: Autor

4.2 MODELAGEM MATEMÁTICA PROPOSTA

Inicialmente é importante definir os parâmetros que compõem o modelo matemático, nesse modelo matemático os parâmetros são:

I – Conjunto de pontos de ônibus a serem atendidos $\{i_0, i_1, \dots, i_N\}$;

OI – Subconjunto contendo somente a origem i_0 ;

SO $_i$ – Subconjunto contendo todos os pontos com exceção da origem;

C_{ij} – Distância entre o ponto i e o ponto j ;

Em sequência é necessário definir a variável genérica, a qual é definida como variável de decisão, a qual possui binariedade de x_{ij} , onde i e j correspondem aos pontos c_{ij} . Um para caso o ponto seja alcançado a partir da cidade i e zero caso contrário.

É necessário ainda definir as restrições de visita, a primeira restrição diz respeito ao número de vezes que cada ponto deve ser visitado e evita que cada ponto seja visitado mais de uma vez por veículo, mantendo a linha de raciocínio do problema do caixeiro viajante, onde cada ponto deve ser visitado apenas uma vez e por um único veículo.

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1 \quad \forall j, j \neq i \quad (9)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1 \quad \forall j, j \neq j \quad (10)$$

Foi definida ainda a função objetivo, a qual é responsável por determinar qual é o objetivo do modelo matemático, nesse caso nossa função objetivo busca garantir que seja percorrida a menor distância e toda a rota seja a menor possível.

$$Z = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n c_{ij} x_{ij} \quad (11)$$

Ainda é importante definir a restrição a seguir para que não ocorra a existência de ciclos pré-hamiltonianos apresentando a solução de apenas uma rota, e garantindo que a mesma inicie e termine no IFSC.

$$u_i - u_j + nx_{ij} \leq n - 1 \quad \forall i \text{ e } \forall j \quad (12)$$

Para finalizar é importante garantir que as variáveis sejam binárias e que não sejam negativas, para isso ocorrer são definidas as variáveis a seguir:

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i, j \in V \quad (13)$$

$$u_i \geq 0 \quad \forall i, j \in V \quad (14)$$

De forma geral, o modelo matemático utilizado completo está apresentado a seguir:

Minimizar:

$$Z = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n c_{ij} x_{ij} \quad (15)$$

Sujeito à

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1 \quad \forall j, j \neq i \quad (16)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1 \quad \forall j, j \neq j \quad (17)$$

$$\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n x_{ij} = n \quad \forall j: j \neq i \quad (18)$$

$$u_i - u_j + nx_{ij} \leq n - 1 \quad \forall i \text{ e } \forall j \quad (19)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i, j \in V \quad (20)$$

$$u_i \geq 0 \quad \forall i, j \in V \quad (21)$$

4.3 VALIDAÇÃO E APLICAÇÃO DO MODELO

Para a validação do modelo foi necessária busca de um software que auxiliasse na solução do modelo matemático, o software utilizado foi o GAMS IDE, para isso foi necessário o desenvolvimento do modelo matemático no software. Para o desenvolvimento foi utilizado o modelo matemático baseado no MTSP/VRP (KALVELAGEN, 2009). Foram necessárias duas aplicações no modelo matemático, uma para a rota diurna e uma para a rota noturna definida nas figuras a seguir. O modelo aplicado para a rota proposta diurna está apresentado nas Figuras 6 e 7. O modelo aplicado para a rota noturna está representado nas Figuras 8 e 9. Nesse modelo ocorre a variação do número de veículos e do número de pontos visitados.

Figura 6 – Modelo de programação diurno GAMS parte 1

```

$set inicio i0
scalar
  m 'numero de veiculos' /3/
  p 'numero de pontos visitados' /10/
;
sets
  i /i0*i29/
;
alias (i,j);
table c(i,j) 'distance matrix (KM)'

      i0  i1  i2  i3  i4  i5  i6  i7  i8  i9  i10 i11 i12 i13 i14 i15 i16 i17 i18 i19 i20 i21 i22 i23 i24 i25 i26 i27 i28 i29
i0    4.1 7.4 4.0 6.3 6.8 5.2 1.1 6.3 2.9 6.5 2.4 6.1 3.7 4.1 7.5 4.0 1.8 3.3 4.0 4.6 1.4 4.4 6.3 3.8 4.1 4.9 2.3 6.3 6.3
i1    3.7 3.9 2.1 2.6 3.0 3.0 2.8 1.1 1.8 1.7 2.8 0.9 0.2 3.3 1.7 2.1 2.6 1.4 1.1 3.7 2.6 2.2 3.6 0.4 2.8 2.1 2.0 2.0
i2    6.8 4.1 3.5 5.5 6.5 1.1 5.0 3.1 5.5 1.4 4.4 3.8 3.3 4.3 5.9 6.3 3.6 3.0 7.4 6.9 4.7 3.7 8.1 5.6 4.1 5.4 4.4
i3    6.1 6.5 4.5 3.0 5.8 3.3 5.7 3.2 6.3 3.1 3.6 7.2 3.3 2.9 4.4 3.4 4.5 3.5 3.6 4.2 6.1 0.3 4.1 4.3 2.2 5.9
i4    1.5 5.4 5.3 3.9 3.2 1.7 4.0 3.2 3.4 2.4 2.1 4.2 4.7 4.5 3.9 2.7 6.5 5.6 2.6 2.1 5.7 2.4 4.8 4.1 1.8
i5    5.9 5.8 3.7 3.7 1.1 4.5 2.1 4.0 2.9 0.7 4.4 6.1 5.0 3.6 3.0 7.0 6.1 3.1 1.1 6.2 3.0 5.4 4.6 1.0
i6    4.2 4.5 3.7 5.1 3.8 5.1 2.8 2.9 6.5 1.2 3.8 5.1 2.0 3.4 5.0 4.6 3.5 5.3 4.4 3.4 1.8 3.1 5.2
i7    5.2 1.8 5.4 1.2 5.3 2.1 2.7 6.2 3.1 0.8 2.3 3.3 3.6 0.7 0.8 2.8 5.1 2.7 3.0 3.8 1.2 4.9
i8    4.1 3.0 4.7 2.5 3.5 3.1 4.4 3.4 5.0 5.6 2.7 2.1 6.5 5.7 3.5 3.4 5.6 3.4 3.8 4.4 3.2
i9    4.6 0.6 3.9 1.0 1.2 4.4 2.2 1.3 1.9 2.0 2.2 2.5 1.6 1.0 3.4 2.6 1.2 2.9 1.1 3.2
i10   4.5 1.6 2.7 2.1 1.6 3.8 4.7 3.9 3.4 2.0 6.1 5.2 2.4 0.4 5.4 2.2 4.9 3.5 0.2
i11   4.6 1.7 1.8 5.1 2.9 0.9 1.3 2.7 2.9 2.1 1.1 1.6 4.0 2.9 1.9 3.6 1.4 3.8
i12   3.5 3.1 1.9 3.4 5.1 5.4 2.7 2.1 6.6 6.5 3.4 1.3 5.6 3.3 3.8 4.4 1.8
i13   0.7 4.2 1.7 2.2 2.8 1.5 1.4 3.4 2.5 1.2 3.1 3.1 1.1 2.4 1.5 2.9
i14   3.9 1.8 2.4 2.6 1.5 1.3 3.6 2.8 0.6 2.5 3.4 0.5 2.5 1.8 2.3
i15   4.6 5.8 5.7 3.9 3.3 7.1 6.7 3.7 1.5 6.8 3.6 6.1 5.3 1.5
i16   2.6 3.9 0.8 2.2 3.8 3.4 2.3 4.1 3.0 2.2 1.0 1.8 4.0
i17   1.5 3.1 3.3 1.4 0.8 2.0 5.1 2.7 2.2 3.9 1.2 4.9
i18   3.9 3.6 2.9 2.0 2.4 4.3 4.0 2.6 4.7 2.5 4.1
i19   1.8 3.7 3.3 1.9 3.8 3.2 1.7 1.1 1.9 3.6
i20   5.0 3.9 1.7 2.3 2.5 1.6 2.6 3.1 1.7
i21   1.3 3.6 5.9 2.6 3.8 4.6 1.9 5.7
i22   2.5 5.5 3.2 2.7 4.4 1.8 5.3
i23   2.8 3.6 0.2 3.1 2.0 2.6
i24   5.5 2.5 3.6 4.2 0.6
i25   3.8 4.0 1.9 5.6
i26   3.0 2.2 2.4
i27   2.8 5.1
i28   3.7
;
c(i,j) = max(c(i,j),c(j,i));
set arcs(i,j);
arcs(i,j)$c(i,j) = yes;
set i0(i) /%inicio%/;
set i2(i);
i2(i)$not i0(i) = yes;
scalar n 'number of nodes';
n = card(i);

```

Fonte: Autor baseado no MTSP/VRP (KALVELAGEN, 2009)

Figura 7 – Modelo de programação diurno GAMS parte 2

```

binary variables x(i,j);
positive variables u(i);
variable z;

equations
  start
  end
  assign1(i)
  assign2(j)
  sec(i,j) 'subtour elimination'
  cost
;

start.. sum(i2(j), x('%inicio%',j)) =e= m;
end.. sum(i2(i), x(i,'%inicio%')) =e= m;
assign1(i2(i)).. sum(arcs(i,j), x(i,j)) =e= 1;
assign2(i2(j)).. sum(arcs(i,j), x(i,j)) =e= 1;
sec(arcs(i,j))$(i2(i) and i2(j)).. u(i) - u(j) + p*x(i,j) =L= p-1;
cost.. z =e= sum(arcs, c(arcs)*x(arcs));

option optcr=0;
option iterlim=10000000;
option reslim=3600;

* use parallel MIP
option threads=8;
option mip=cplex;

model mtsp/all/;
solve mtsp minimizing z using mip;

```

Fonte: Autor baseado no MTSP/VRP (KALVELAGEN, 2009)

Figura 8 – Modelo de programação noturno GAMS parte 1

```

Sset inicio i0
scalar
  m 'numero de veiculos' /2/
  p 'numero de pontos visitados' /11/
;
sets
  i /i0*i21/
;
alias (i,j);
table c(i,j) 'distance matrix (KM)'
  i0 i1 i2 i3 i4 i5 i6 i7 i8 i9 i10 i11 i12 i13 i14 i15 i16 i17 i18 i19 i20 i21
i0 3.4 4.6 1.1 2.9 6.7 4.2 2.0 3.7 1.8 7.9 2.8 3.3 4.6 6.7 1.4 1.4 4.1 7.4 2.1 4.0 4.1
i1 2.2 2.3 2.5 4.4 1.5 1.4 1.8 2.1 6.2 1.6 3.9 2.9 4.4 2.9 2.9 2.3 5.3 2.0 2.2 2.6
i2 3.6 3.8 6.8 3.7 2.7 3.6 3.4 8.3 3.2 5.1 5.0 6.5 4.1 4.1 4.5 7.7 3.2 4.4 4.6
i3 1.9 5.5 2.8 1.0 2.2 0.8 6.9 1.7 2.5 3.6 5.7 0.7 0.8 3.0 6.4 1.0 2.9 3.0
i4 4.6 2.0 1.8 1.0 1.3 5.5 0.9 2.2 2.2 3.2 2.6 1.6 1.9 5.3 1.9 1.8 1.2
i5 3.0 5.6 3.7 5.2 1.5 4.2 6.1 2.3 3.0 6.2 5.7 2.4 0.9 5.3 3.2 3.4
i6 2.2 1.5 2.8 4.3 1.3 4.2 1.7 2.8 3.6 3.3 1.6 3.7 2.8 0.9 2.0
i7 2.4 1.1 6.2 1.9 2.9 3.9 5.1 1.4 1.7 3.5 6.0 0.6 2.5 3.0
i8 2.0 4.7 0.4 3.3 2.2 3.5 2.8 2.5 1.6 4.4 2.0 0.9 1.5
i9 6.5 1.7 2.4 3.6 5.3 1.5 1.0 3.0 5.9 0.9 2.5 2.5
i10 4.4 5.9 2.5 2.3 6.9 6.1 2.7 0.6 5.7 2.9 3.6
i11 2.7 1.8 3.3 2.8 2.2 1.3 4.6 2.0 1.2 1.4
i12 4.0 4.6 3.3 2.4 3.6 7.5 3.0 3.6 3.0
i13 1.8 4.8 3.9 1.2 3.3 4.1 1.4 1.6
i14 6.2 5.3 2.4 4.1 5.3 2.6 2.5
i15 1.3 3.8 7.1 0.9 3.7 3.8
i16 3.4 7.6 1.7 3.3 2.8
i17 3.4 3.6 0.7 1.0
i18 6.5 3.5 4.2
i19 2.8 3.0
i20 1.3
i21
;
c(i,j) = max(c(i,j),c(j,i));
set arcs(i,j);
arcs(i,j)$c(i,j) = yes;
set i0(i) /%inicio%/;
set i2(i);
i2(i)$ (not i0(i)) = yes;
scalar n 'number of nodes';
n = card(i);

```

Fonte: Autor baseado no MTSP/VRP (KALVELAGEN, 2009)

Figura 9 – Modelo de programação noturno GAMS parte 2

```

binary variables x(i,j);
positive variables u(i);
variable z;
equations
  start
  end
  assign1(i)
  assign2(j)
  sec(i,j) 'subtour elimination'
  cost
;
start.. sum(i2(j), x('%inicio%',j)) =e= m;
end.. sum(i2(i), x(i,'%inicio%')) =e= m;
assign1(i2(i)).. sum(arcs(i,j), x(i,j)) =e= 1;
assign2(i2(j)).. sum(arcs(i,j), x(i,j)) =e= 1;
sec(arcs(i,j))$(i2(i) and i2(j)).. u(i) - u(j) + p*x(i,j) =L= p-1;
cost.. z =e= sum(arcs, c(arcs)*x(arcs));

option optcr=0;
option iterlim=10000000;
option reslim=3600;

* use parallel MIP
option threads=8;
option mip=cplex;

model mtsp/all/;
solve mtsp minimizing z using mip;

```

Fonte: Autor baseado no MTSP/VRP (KALVELAGEN, 2009)

As figuras representam a programação matemática, onde são definidos os parâmetros para a solução dos dados e posteriormente é adicionada a tabela de dados. Ainda são descritas as restrições do problema para execução da solução da melhor forma possível. Os dados encontrados através da utilização foram

satisfatórios e com a utilização do GAMS IDE foi possível encontrar uma solução e propor as rotas.

Com o *software* foram realizados alguns testes, quanto ao número de rotas para propor uma solução, onde, o tempo de viagem e a distância fossem satisfatórios.

Inicialmente o *software* foi utilizado na aplicação para calcular a rota diária, onde 47 pessoas responderam o questionário. O software foi aplicado considerando diversos números de rotas como demonstrado no Quadro 5 considerando a distância e o tempo de rota. A distância e o tempo foram encontrados com o auxílio do Google Maps, no qual é possível calcular a distância entre dois ou mais pontos. Para cada alteração no número de veículos foi necessário executar o modelo novamente encontrando as soluções apresentadas nos Quadros 7 e 8.

Quadro 7 – Conjunto de rotas ótimas para diferentes quantidades de veículos - demanda diurna

DIURNO			
NÚMERO DE ROTAS	ROTA	TEMPO (min)	DISTÂNCIA (km)
1	1	85	40,7
2	1	44	18,2
	2	62	31,4
3	1	36	15,2
	2	48	23,9
	3	35	16,4
4	1	37	18,3
	2	17	7,5
	3	44	22,4
	4	45	20,1
5	1	27	12,7
	2	38	20,8
	3	32	14,5
	4	45	22,3
	5	34	16,5

Fonte: Autor

Ao analisar o Quadro 7 foi possível verificar que com apenas uma rota, o tempo de viagem ficaria muito alto, inviabilizando a proposta. Nesse sentido foi realizada a roteirização com até 5 veículos, onde, na rota proposta com dois veículos, ainda teríamos uma rota com tempo de 62 minutos. Na rota com 3 veículos teríamos um tempo satisfatório, e quando comparada com as rotas com

4 e 5 veículos, nota-se que a variabilidade de tempo e distância seria muito baixa, o que provavelmente inviabiliza aumentar o número de veículos. Nesse sentido, a proposta que parece mais promissora é aquela com 3 veículos.

Posteriormente foi aplicado o mesmo modelo matemático para os dados coletados na rota noturna, com a qual, com o auxílio do Google Maps, foi possível realizar o levantamento de dados contidos no Quadro 8.

Quadro 8 – Conjunto de rotas ótimas para diferentes quantidades de veículos - demanda noturna

NOTURNO			
NÚMERO DE ROTAS	ROTA	TEMPO (min)	DISTÂNCIA (km)
1	1	72	33,6
2	1	33	15,9
	2	42	21
3	1	26	12,1
	2	43	21,5
	3	31	14,2
4	1	28	10,9
	2	45	23,4
	3	18	8,8
	4	40	21,1

Fonte: Autor

Devido ao fato de na rota noturna possuir um número menor de entrevistados, não viabiliza um número muito elevado de veículos. Nesse sentido, o modelo foi aplicado para até 4 veículos. Analisando os dados, foi possível verificar, assim como no caso da coleta de dados da rota diurna, que com apenas um veículo, teríamos uma rota muito longa e com um tempo muito elevado. Já ao analisarmos a rota com dois veículos, o tempo seria satisfatório, principalmente quando comparado a rota com 3 e 4 veículos, que teriam uma rota com tempo superior às rotas encontradas com dois veículos. Neste sentido, a rota aparentemente mais promissora seria aquela com dois veículos.

4.4 ROTAS PROPOSTAS

Será apresentada, inicialmente, as rotas para a solução com 3 veículos encontrados para o transporte diurno, o qual ocorreria pela manhã e no final do dia. Inicialmente será apresentada a rota encontrada 1 no Quadro 9. O Quadro 10 apresenta a distância calculada ponto a ponto e a distância nova com o ajuste do

Google Maps, além disso, para a rota 1 o tempo encontrado foi de 36 minutos, por não ser um tempo muito elevado viabiliza a utilização desta rota. Na sequência, é apresentada a Figura 7, a qual foi desenvolvida com auxílio do Google Maps para que fosse possível a visualização da rota proposta.

Quadro 9 – Rota diurno 1

Ponto	Endereço
N0	IFSC
N17	344 R. São Francisco de Assis
N18	40 R. Izidoro Belotto
N23	715 R. Abdala João
N26	795 R. Henrique Júlio Berger
N14	271 R. Henrique Júlio Berger
N1	1 R. Elias Biasi
N25	745 R. Amazonas
N3	1066 R. Amazonas
N28	Av. Barão do Rio Branco
N7	1822 Av. Fahdo Thomé
N0	IFSC

Fonte: Autor

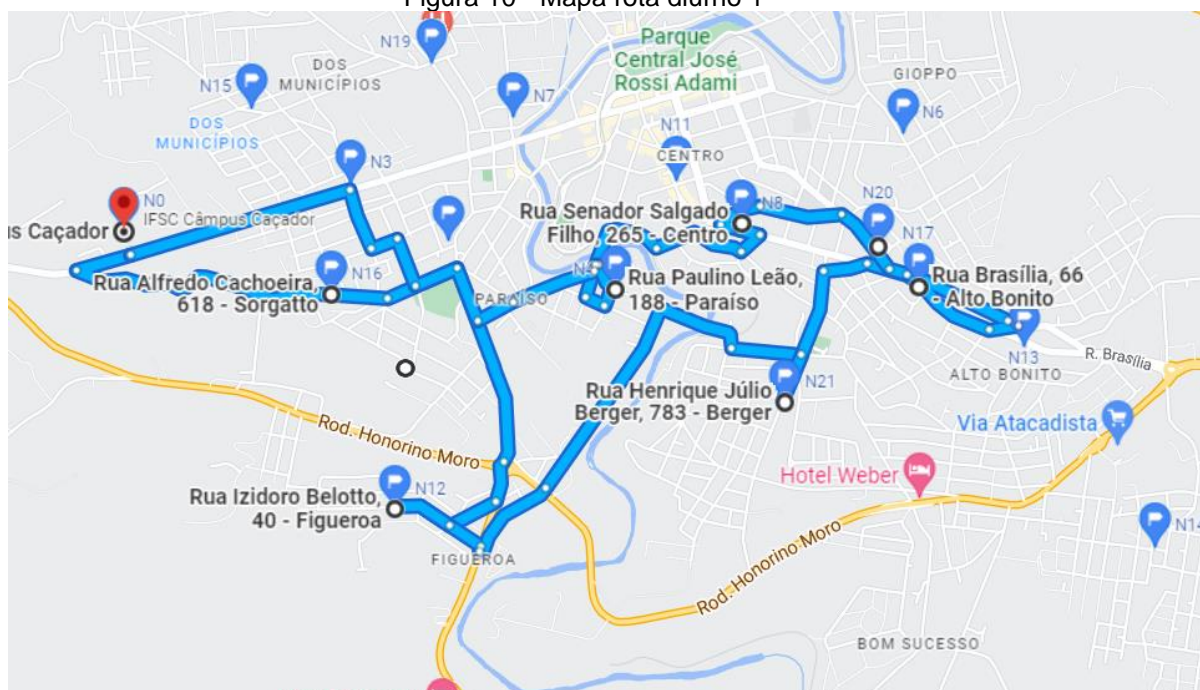
Quadro 10 – Distâncias diurno 1

Origem	Destino	Distância(km)
N0	N17	1,8
N17	N18	1,5
N18	N23	2,4
N23	N26	0,2
N26	N14	0,5
N14	N1	0,3
N1	N25	0,5
N25	N3	0,3

N3	N28	2,2
N28	N7	1,2
N7	N0	1,1
Distância total:		12 km
Distância total com o ajuste do Google Maps:		15,2 km

Fonte: Autor

Figura 10 - Mapa rota diurna 1



Fonte: Autor com o auxílio do Google MAPS

A seguir estão apresentados os dados encontrados da rota 2, onde o Quadro 11 apresenta os pontos dessa rota e seus respectivos endereços e o Quadro 12 a distância encontrada. Como descrito anteriormente, com o ajuste do Google Maps a distância encontrada foi de 23,9. Além disso, o mesmo mostra uma previsão de tempo e para o caso da rota 2 o tempo estimado foi de 48 minutos. A Figura 11 representa a rota proposta.

Quadro 11 – Rota diurna 2

Ponto	Endereço
N0	IFSC

N20	510 R. Brasília
N8	1872 R. Curitiba
N2	104 R. Otávio Gonçalves Cordeiro
N12	210 R. Antônio Bombassaro
N15	28 Av. Albino Felipe Potrich
N5	1312 Av. Albino Felipe Potrich
N4	1174 R. Nelson Eugênio Busato
N29	R. José Oleinik, 395 - Martello
N10	192 R. José Oleinik
N24	739 R. Benjamin Giopo
N0	IFSC

Fonte: Autor

Quadro 12 – Distâncias diurno 2

Origem	Destino	Distância(km)
N0	N20	4,6
N20	N8	2,1
N8	N2	1,1
N2	N12	1,4
N12	N15	1,9
N15	N5	0,7
N5	N4	1,5
N4	N29	1,8
N29	N10	0,2
N10	N24	0,4
N24	N0	3,8
Distância total:		19,5 km
Distância total com o ajuste do Google Maps:		23,9 km

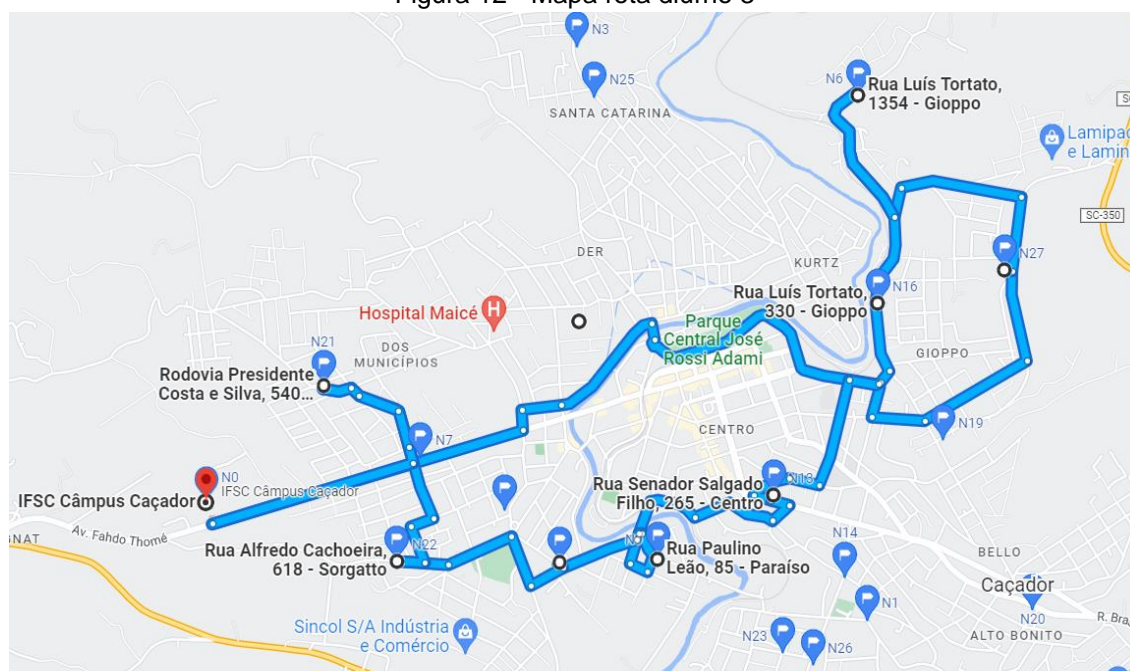
Fonte: Autor

Quadro 14 – Distâncias diurno 3

Origem	Destino	Distância(km)
N0	N27	2,3
N27	N6	1,8
N6	N16	1,2
N16	N19	0,8
N19	N13	1,5
N13	N9	1
N9	N11	0,6
N11	N22	1,1
N22	N21	1,3
N21	N0	1,4
Distância total:		13 km
Distância total com o ajuste do Google Maps:		16,4 km

Fonte: Autor

Figura 12 - Mapa rota diurno 3



Fonte: Autor com o auxílio do Google MAPS

Posteriormente o software foi aplicado para os dados coletados da comunidade acadêmica que frequentam o período noturno, para esses dados,

como descrito anteriormente, foi selecionada a opção com 2 veículos, na qual a primeira rota está apresentada no Quadro 15 e as respectivas distâncias estão apresentadas no Quadro 16. Na sequência, na Figura 13, está demonstrada a rota proposta com o auxílio do Google Maps, além disso foi encontrada uma estimativa de tempo de 33 min, sendo um tempo considerado satisfatório para atender as necessidades da comunidade.

Quadro 15 – Rota noturno 1

Ponto	Endereço
N0	IFSC
N3	1846 Av. Fahdo Thomé
N11	395 Rua Carlos Sperança
N8	265 R. Sen. Salgado Filho
N20	74 R. Primeiro de Maio
N6	221 R. José Giopo
N1	1451 Av. Aristiliano Ramos
N2	1607 R. Amazonas
N7	222 R. Dr. Altamiro Guimarães
N19	686 Rua Herculano Coelho de Souza
N15	540 Rod. Pres. Costa e Silva
N0	IFSC

Fonte: Autor

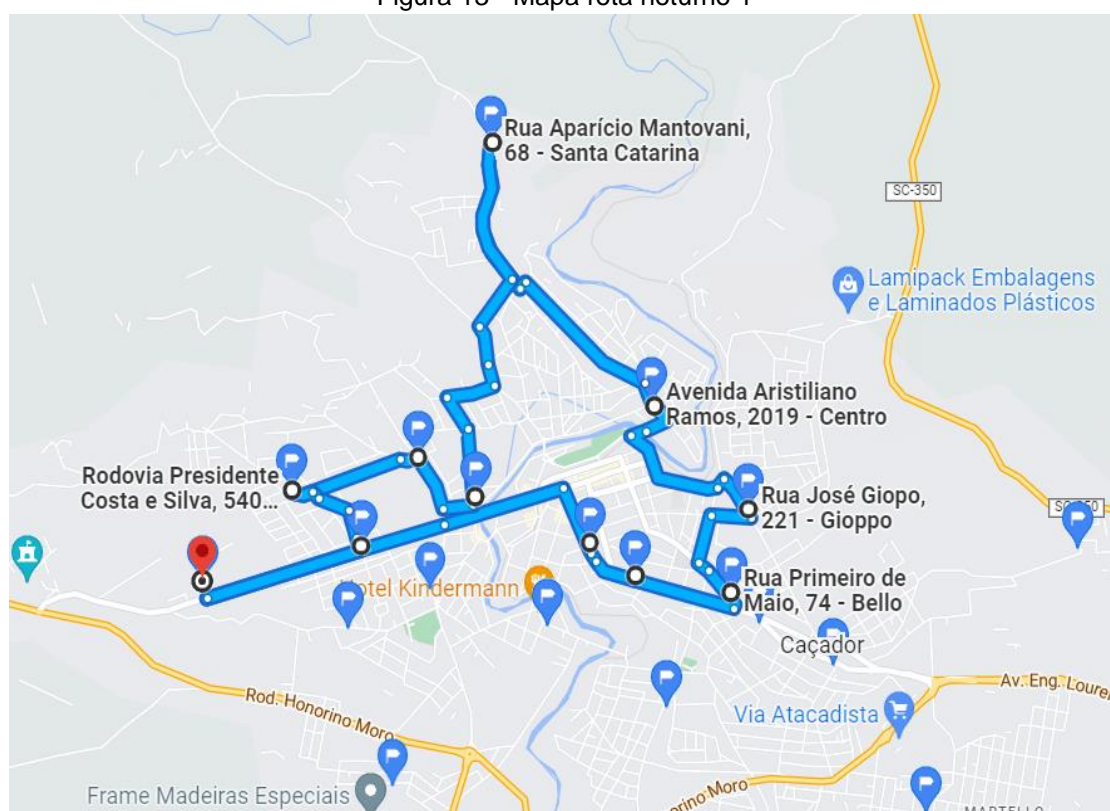
Quadro 16 – Distâncias noturno 1

Origem	Destino	Distância(km)
N0	N3	1,1
N3	N11	1,7
N11	N8	0,9
N8	N20	0,8
N20	N6	0,9
N6	N1	1,5
N1	N2	2,2

N2	N7	2,7
N7	N19	0,6
N19	N15	0,9
N15	N0	1,7
Distância total:		15km
Distância total com o ajuste do Google Maps:		15,9

Fonte: Autor

Figura 13 - Mapa rota noturno 1



Fonte: Autor com o auxílio do Google MAPS

Como descrito, foram selecionadas 2 rotas. A segunda rota será apresentada no Quadro 17. Para ela também foi encontrada as distâncias conforme descrito no Quadro 18, que apresenta também a distância total após o ajuste do Google Maps que foi de 20,3, essa rota está apresentada na Figura 14 e teve um tempo estimado de 42 minutos.

Quadro 17 – Rota noturno 2

Ponto	Endereço
N0	IFSC

N9	344 R. São Francisco de Assis
N4	188 R. Paulino Leão
N21	783 R. Henrique Júlio Berger
N17	66 R. Brasília
N13	510 R. Brasília
N5	193 R. Bernardino Deboni
N18	669 R. Antônio Vivan
N10	108 R. Antônio Vivan
N14	53 R. Sebastião Velasques
N12	210 R. Antônio Bombassaro
N16	618 R. Alfredo Cachoeira
N0	IFSC

Fonte: Autor

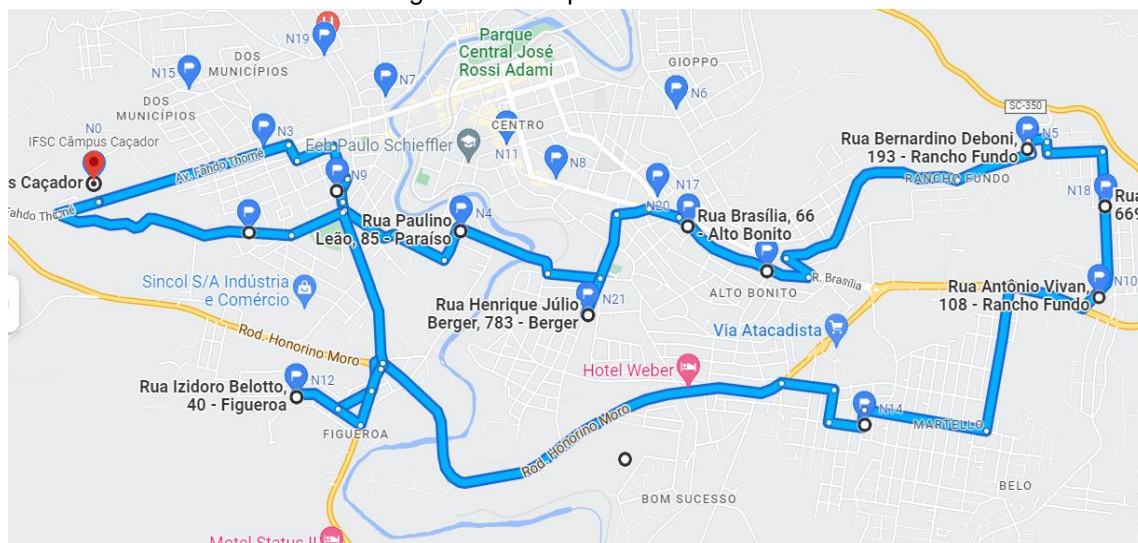
Quadro 18 – Distâncias noturno 2

Origem	Destino	Distância(km)
N0	N9	1,8
N9	N4	1,3
N4	N21	1,2
N21	N17	1
N17	N13	1,2
N13	N5	2,3
N5	N18	0,9
N18	N10	0,6
N10	N14	2,3
N14	N12	4,6
N12	N16	2,4
N16	N0	1,4
Distância total:		21km

Distância total com o ajuste do Google Maps:	20,3
--	------

Fonte: Autor

Figura 14 - Mapa rota noturno 2



Fonte: Autor com o auxílio do Google MAPS

De forma geral, os resultados encontrados foram satisfatórios e foi possível propor rotas dentro do esperado para a instituição. Seguindo essa análise, teríamos 3 rotas propostas para os cursos que funcionam no período diurno e 2 rotas propostas para o período noturno.

4.4.1. Rotas propostas para a Auto Coletivo de Caçador

Pensando em contribuir com a mobilidade e a melhoria do transporte destinado ao IFSC, câmpus Caçador, viu-se a necessidade de propor um conjunto de rotas que levasse em consideração a atual empresa de transportes, para que pudesse ser proposto conjuntos de rotas para otimizar e atender a demanda da comunidade acadêmica. Para isso foi utilizado o endereço da Garagem do Auto Coletivo Caçador, o qual fica localizado na Rua Marlene Cordeiro Moraes, no Bairro São Cristóvão no Município de Caçador.

O modelo matemático aplicado no software GAMS foi aplicado com a adição desse ponto, no caso da rota diurna o ponto do Auto Coletivo foi o ponto N30, no caso do noturno foi o ponto N22. Foi necessário calcular a distância de todos os pontos para esses novos pontos como executado anteriormente. As distâncias encontradas são definidas nos Quadros 19 e 20, primeiramente para o diurno e posteriormente para o noturno.

Quadro 19 – Matriz de distâncias com a adição da Auto Coletivo - demanda diurna

	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11	N12	N13	N14	N15	N16	N17	N18	N19	N20	N21	N22	N23	N24	N25	N26	N27	N28	N29	N30	
N0	4,1	7,4	4	6,3	6,8	5,2	1,1	6,3	2,9	6,5	2,4	6,1	3,7	4,1	7,5	4	1,8	3,3	4	4,6	1,4	4,4	6,3	3,8	4,1	4,9	2,3	6,3	6,3	6,7	
N1		3,7	3,9	2,1	2,6	3,0	3,0	2,8	1,1	1,8	1,7	2,8	1,0	0,3	3,3	1,7	2,1	2,6	1,4	1,1	3,7	2,6	2,2	3,6	0,5	2,8	2,1	2,0	2,0	3,2	
N2			6,8	4,1	3,5	5,5	6,5	1,1	5,0	3,1	5,5	1,4	4,4	3,8	3,3	4,3	5,9	6,3	3,6	3,0	7,4	6,9	4,7	3,7	8,1	5,6	4,1	5,4	4,4	1,0	
N3				6,1	6,5	4,5	3,0	5,8	3,3	5,7	3,2	6,3	3,1	3,6	7,2	3,3	2,9	4,4	3,4	4,5	3,5	3,6	4,2	6,1	0,3	4,1	4,3	2,2	5,9	6,1	
N4					1,5	5,4	5,3	3,9	3,2	1,7	4,0	3,2	3,4	2,4	2,1	4,2	4,7	4,5	3,9	2,7	6,5	5,6	2,6	2,1	5,7	2,4	4,8	4,1	1,8	3,4	
N5						5,9	5,8	3,7	3,7	1,1	4,5	2,1	4,0	2,9	0,7	4,4	6,1	5,0	3,6	3,0	7,0	6,1	3,1	1,1	6,2	3,0	5,4	4,6	1,0	2,8	
N6							4,2	4,5	3,7	5,1	3,8	5,1	2,8	2,9	6,5	1,2	3,8	5,1	2,0	3,4	5,0	4,6	3,5	5,3	4,4	3,4	1,8	3,1	5,2	4,8	
N7								5,2	1,8	5,4	1,2	5,3	2,1	2,7	6,2	3,1	0,8	2,3	3,3	3,6	0,7	0,8	2,8	5,1	2,7	3,0	3,8	1,2	4,9	5,6	
N8									4,1	3,0	4,7	2,5	3,5	3,1	4,4	3,4	5,0	5,6	2,7	2,1	6,5	5,7	3,5	3,4	5,6	3,4	3,8	4,4	3,2	2,1	
N9										4,6	0,6	3,9	1,0	1,2	4,4	2,2	1,3	1,9	2,0	2,2	2,5	1,6	1,0	3,4	2,6	1,2	2,9	1,1	3,2	4,3	
N10											4,5	1,6	2,7	2,1	1,6	3,8	4,7	3,9	3,4	2,0	6,1	5,2	2,4	0,4	5,4	2,2	4,9	3,5	0,2	2,3	
N11												4,6	1,7	1,8	5,1	2,9	0,9	1,3	2,7	2,9	2,1	1,1	1,6	4,0	2,9	1,9	3,6	1,4	3,8	4,9	
N12													3,5	3,1	1,9	3,4	5,1	5,4	2,7	2,1	6,6	6,5	3,4	1,3	5,6	3,3	3,8	4,4	1,8	0,7	
N13														0,7	4,2	1,7	2,2	2,8	1,5	1,4	3,4	2,5	1,2	3,1	1,1	2,4	1,5	2,9	3,6		
N14															3,9	1,8	2,4	2,6	1,5	1,3	3,6	2,8	0,6	2,5	3,4	0,5	2,5	1,8	2,3	3,3	
N15																4,6	5,8	5,7	3,9	3,3	7,1	6,7	3,7	1,5	6,8	3,6	6,1	5,3	1,5	2,5	
N16																	2,6	3,9	0,8	2,2	3,8	3,4	2,3	4,1	3,0	2,2	1,0	1,8	4,0	3,6	
N17																		1,5	3,1	3,3	1,4	0,8	2,0	5,1	2,7	2,2	3,9	1,2	4,9	5,2	
N18																			3,9	3,6	2,9	2,0	2,4	4,3	4,0	2,6	4,7	2,5	4,1	5,6	
N19																				1,8	3,7	3,3	1,9	3,8	3,2	1,7	1,1	1,9	3,6	2,9	
N20																					5,0	3,9	1,7	2,3	2,5	1,6	2,6	3,1	1,7	2,3	
N21																							1,3	3,6	5,9	2,6	3,8	4,6	1,9	5,7	6,7
N22																								2,5	5,5	3,2	2,7	4,4	1,8	5,3	5,9
N23																									2,8	3,6	0,2	3,1	2,0	2,6	3,7
N24																										5,5	2,5	3,6	4,2	0,6	1,9
N25																											3,8	4,0	1,9	5,6	5,8
N26																												3,0	2,2	2,4	3,6
N27																													2,8	5,1	3,9
N28																														3,7	4,5
N29																															2,5

Fonte: Autor

Quadro 20 – Matriz de distâncias com a adição da Auto Coletivo - demanda noturna

	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11	N12	N13	N14	N15	N16	N17	N18	N19	N20	N21	N22
N0	3,4	4,6	1,1	2,9	6,7	4,2	2,0	3,7	1,8	7,9	2,8	3,3	4,6	6,7	1,4	1,4	4,1	7,4	2,1	4,0	4,1	8,2
N1		2,2	2,3	2,5	4,4	1,5	1,4	1,8	2,1	6,2	1,6	3,9	2,9	4,4	2,9	2,9	2,3	5,3	2,0	2,2	2,6	6,4
N2			3,6	3,8	6,8	3,7	2,7	3,6	3,4	8,3	3,2	5,1	5,0	6,5	4,1	4,1	4,5	7,7	3,2	4,4	4,6	8,6
N3				1,9	5,5	2,8	1,0	2,2	0,8	6,9	1,7	2,5	3,6	5,7	0,7	0,8	3,0	6,4	1,0	2,9	3,0	7,2
N4					4,6	2,0	1,8	1,0	1,3	5,5	0,9	2,2	2,2	3,2	2,6	1,6	1,9	5,3	1,9	1,8	1,2	5,8
N5						3,0	5,6	3,7	5,2	1,5	4,2	6,1	2,3	3,0	6,2	5,7	2,4	0,9	5,3	3,2	3,4	1,9
N6							2,2	1,5	2,8	4,3	1,3	4,2	1,7	2,8	3,6	3,3	1,6	3,7	2,8	0,9	2,0	6,8
N7								2,4	1,1	6,2	1,9	2,9	3,9	5,1	1,4	1,7	3,5	6,0	0,6	2,5	3,0	6,5
N8									2,0	4,7	0,4	3,3	2,2	3,5	2,8	2,5	1,6	4,4	2,0	0,9	1,5	5
N9										6,5	1,7	2,4	3,6	5,3	1,5	1,0	3,0	5,9	0,9	2,5	2,5	7,9
N10											4,4	5,9	2,5	2,3	6,9	6,1	2,7	0,6	5,7	2,9	3,6	0,6
N11												2,7	1,8	3,3	2,8	2,2	1,3	4,6	2,0	1,2	1,4	5,4
N12													4,0	4,6	3,3	2,4	3,6	7,5	3,0	3,6	3,0	7,6
N13														1,8	4,8	3,9	1,2	3,3	4,1	1,4	1,6	3,6
N14															6,2	5,3	2,4	4,1	5,3	2,6	2,5	3,9
N15																1,3	3,8	7,1	0,9	3,7	3,8	8
N16																	3,4	7,6	1,7	3,3	2,8	7,6
N17																		3,4	3,6	0,7	1,0	4,2
N18																			6,5	3,5	4,2	1
N19																				2,8	3,0	7,1
N20																					1,3	5
N21																						5,3

Fonte: Autor

Posteriormente foram necessários ajustes no modelo de programação no Gams, criou-se uma restrição, na qual, considera-se o ponto de partida a Garagem da Auto Coletivo e o ponto final sendo o IFSC. Após alterações o modelo de programação ficou conforme demonstrado na Figura 15 e 16 para a rota diurna.

Figura 15 – Modelo de programação diurno garagem GAMS parte 1

```

$set inicio i0
$set fim i30
$scalar
  m 'numero de veiculos' /5/
  p 'numero de pontos visitados' /6/
;
sets
  i /i0*i30/
;
alias (i,j);
table c(i,j) 'distance matrix (KM)'

      i0 i1 i2 i3 i4 i5 i6 i7 i8 i9 i10 i11 i12 i13 i14 i15 i16 i17 i18 i19 i20 i21 i22 i23 i24 i25 i26 i27 i28 i29 i30
i0    4.1 7.4 4.0 6.3 6.8 5.2 1.1 6.3 2.9 6.5 2.4 6.1 3.7 4.1 7.5 4.0 1.8 3.3 4.0 4.6 1.4 4.4 6.3 3.8 4.1 4.9 2.3 6.3 6.3 6.7
i1    3.7 3.9 2.1 2.6 3.0 3.0 2.8 1.1 1.8 1.7 2.8 0.9 0.2 3.3 1.7 2.1 2.6 1.4 1.1 3.7 2.6 2.2 3.6 0.4 2.8 2.1 2.0 2.0 3.2
i2    6.8 4.1 3.5 5.5 6.5 1.1 5.0 3.1 5.5 1.4 4.4 3.8 3.3 4.3 5.9 6.3 3.6 3.0 7.4 6.9 4.7 3.7 8.1 5.6 4.1 5.4 4.4 1.0
i3    6.1 6.5 4.5 3.0 5.8 3.3 5.7 3.2 6.3 3.1 3.6 7.2 3.3 2.9 4.4 3.4 4.5 3.5 3.6 4.2 6.1 0.3 4.1 4.3 2.2 5.9 6.1
i4    1.5 5.4 5.3 3.9 3.2 1.7 4.0 3.2 3.4 2.4 2.1 4.2 4.7 4.5 3.9 2.7 6.5 5.6 2.6 2.1 5.7 2.4 4.8 4.1 1.8 3.4
i5    5.9 5.8 3.7 3.7 1.1 4.5 2.1 4.0 2.9 0.7 4.4 6.1 5.0 3.6 3.0 7.0 6.1 3.1 1.1 6.2 3.0 5.4 4.6 1.0 2.8
i6    4.2 4.5 3.7 5.1 3.8 5.1 2.8 2.9 6.5 1.2 3.8 5.1 2.0 3.4 5.0 4.6 3.5 5.3 4.4 3.4 1.8 3.1 5.2 4.8
i7    5.2 1.8 5.4 1.2 5.3 2.1 2.7 6.2 3.1 0.8 2.3 3.3 3.6 0.7 0.8 2.8 5.1 2.7 3.0 3.8 1.2 4.9 5.6
i8    4.1 3.0 4.7 2.5 3.5 3.1 4.4 3.4 5.0 5.6 2.7 2.1 6.5 5.7 3.5 3.4 5.6 3.4 3.8 4.4 3.2 2.1
i9    4.6 0.6 3.9 1.0 1.2 4.4 2.2 1.3 1.9 2.0 2.2 2.5 1.6 1.0 3.4 2.6 1.2 2.9 1.1 3.2 4.3
i10   4.5 1.6 2.7 2.1 1.6 3.8 4.7 3.9 3.4 2.0 6.1 5.2 2.4 0.4 5.4 2.2 4.9 3.5 0.2 2.3
i11   4.6 1.7 1.8 5.1 2.9 0.9 1.3 2.7 2.9 2.1 1.1 1.6 4.0 2.9 1.9 3.6 1.4 3.8 4.9
i12   3.5 3.1 1.9 3.4 5.1 5.4 2.7 2.1 6.6 6.5 3.4 1.3 5.6 3.3 3.8 4.4 1.8 0.7
i13   0.7 4.2 1.7 2.2 2.8 1.5 1.4 3.4 2.5 1.2 3.1 3.1 1.1 2.4 1.5 2.9 3.6
i14   3.9 1.8 2.4 2.6 1.5 1.3 3.6 2.8 0.6 2.5 3.4 0.5 2.5 1.8 2.3 3.3
i15   4.6 5.8 5.7 3.9 3.3 7.1 6.7 3.7 1.5 6.8 3.6 6.1 5.3 1.5 2.5
i16   2.6 3.9 0.8 2.2 3.8 3.4 2.3 4.1 3.0 2.2 1.0 1.8 4.0 3.6
i17   1.5 3.1 3.3 1.4 0.8 2.0 5.1 2.7 2.2 3.9 1.2 4.9 5.2
i18   3.9 3.6 2.9 2.0 2.4 4.3 4.0 2.6 4.7 2.5 4.1 5.6
i19   1.8 3.7 3.3 1.9 3.8 3.2 1.7 1.1 1.9 3.6 2.9
i20   5.0 3.9 1.7 2.3 2.5 1.6 2.6 3.1 1.7 2.3
i21   1.3 3.6 5.9 2.6 3.8 4.6 1.9 5.7 6.7
i22   2.5 5.5 3.2 2.7 4.4 1.8 5.3 5.9
i23   2.8 3.6 0.2 3.1 2.0 2.6 3.7
i24   5.5 2.5 3.6 4.2 0.6 1.9
i25   3.8 4.0 1.9 5.6 5.8
i26   3.0 2.2 2.4 3.6
i27   2.8 5.1 3.9
i28   3.7 4.5
i29   2.5
;

c(i,j) = max(c(i,j),c(j,i));
set arcs(i,j);
arcs(i,j)$(c(i,j) = yes);
set i0(i) /%inicio%,%fim%/;
set i2(i);
i2(i)$(not i0(i)) = yes;
scalar n 'number of nodes';
n = card(i);

```

Fonte: Autor baseado no MTSP/VRP (KALVELAGEN, 2009)

Figura 16 – Modelo de programação diurno garagem GAMS parte 2

```

binary variables x(i,j);
positive variables u(i);
variable z;
equations
  start
end
assign1(i)
assign2(j)
sec(i,j) 'subtour elimination'
cost
;
start.. sum(i2(j), x(%inicio%,j)) =e= m;
end.. sum(i2(i), x(i,%fim%)) =e= m;
assign1(i2(i).. sum(arcs(i,j), x(i,j)) =e= 1;
assign2(i2(j).. sum(arcs(i,j), x(i,j)) =e= 1;
sec(arcs(i,j)$(i2(i) and i2(j)).. u(i) - u(j) + p*x(i,j) =l= p-1;
cost.. z =e= sum(arcs, c(arcs)*x(arcs));

option optcr=0;
option iterlim=10000000;
option reslim=3600;

* use parallel MIP
option threads=3;
option mip=cplex;

model mtsp/all;
solve mtsp minimizing z using mip;
display x,L,z,L;

```

Fonte: Autor baseado no MTSP/VRP (KALVELAGEN, 2009)

As mesmas alterações foram aplicadas para o modelo de programação das rotas noturnas apresentadas nas Figuras 17 e 18.

Figura 17 – Modelo de programação noturno garagem GAMS parte 1

```

$set inicio i0
$set fim i22
scalar
  m 'numero de veiculos' /4/
  p 'numero de pontos visitados' /6/
;
sets
  i /i0*i22/
;
alias (i,j);
table c(i,j) 'distance matrix (KM)'

```

	i0	i1	i2	i3	i4	i5	i6	i7	i8	i9	i10	i11	i12	i13	i14	i15	i16	i17	i18	i19	i20	i21	i22
i0		3.4	4.6	1.1	2.9	6.7	4.2	2.0	3.7	1.8	7.9	2.8	3.3	4.6	6.7	1.4	1.4	4.1	7.4	2.1	4.0	4.1	8.2
i1			2.2	2.3	2.5	4.4	1.5	1.4	1.8	2.1	6.2	1.6	3.9	2.9	4.4	2.9	2.9	2.3	5.3	2.0	2.2	2.6	6.4
i2				3.6	3.8	6.8	3.7	2.7	3.6	3.4	8.3	3.2	5.1	5.0	6.5	4.1	4.1	4.5	7.7	3.2	4.4	4.6	4.6
i3					1.9	5.5	2.8	1.0	2.2	0.8	6.9	1.7	2.5	3.6	5.7	0.7	0.8	3.0	6.4	1.0	2.9	3.0	7.2
i4						4.6	2.0	1.8	1.0	1.3	5.5	0.9	2.2	2.2	3.2	2.6	1.6	1.9	5.3	1.9	1.8	1.2	5.8
i5							3.0	5.6	3.7	5.2	1.5	4.2	6.1	2.3	3.0	6.2	5.7	2.4	0.9	5.3	3.2	3.4	1.9
i6								2.2	1.5	2.8	4.3	1.3	4.2	1.7	2.8	3.6	3.3	1.6	3.7	2.8	0.9	2.0	6.8
i7									2.4	1.1	6.2	1.9	2.9	3.9	5.1	1.4	1.7	3.5	6.0	0.6	2.5	3.0	6.5
i8										2.0	4.7	0.4	3.3	2.2	3.5	2.8	2.5	1.6	4.4	2.0	0.9	1.5	5.0
i9											6.5	1.7	2.4	3.6	5.3	1.5	1.0	3.0	5.9	0.9	2.5	2.5	7.9
i10												4.4	5.9	2.5	2.3	6.9	6.1	2.7	0.6	5.7	2.9	3.6	0.6
i11													2.7	1.8	3.3	2.8	2.2	1.3	4.6	2.0	1.2	1.4	5.4
i12														4.0	4.6	3.3	2.4	3.6	7.5	3.0	3.6	3.0	7.6
i13															1.8	4.8	3.9	1.2	3.3	4.1	1.4	1.6	3.6
i14																6.2	5.3	2.4	4.1	5.3	2.6	2.5	3.9
i15																	1.3	3.8	7.1	0.9	3.7	3.8	8.0
i16																		3.4	7.6	1.7	3.3	2.8	7.6
i17																			3.4	3.6	0.7	1.0	4.2
i18																				6.5	3.5	4.2	1.0
i19																					2.8	3.0	7.5
i20																						1.3	5.0
i21																							5.3
i22																							

```

;
c(i,j) = max(c(i,j),c(j,i));
set arcs(i,j);
arcs(i,j)$c(i,j) = yes;
set i0(i) /%inicio%,%fim%/;
set i2(i);
i2(i)$ (not i0(i)) = yes;
scalar n 'number of nodes';
n = card(i);

```

Fonte: Autor baseado no MTSP/VRP (KALVELAGEN, 2009)

Figura 18 – Modelo de programação noturno garagem GAMS parte 2

```

binary variables x(i,j);
positive variables u(i);
variable z;
equations
  start
  end
  assign1(i)
  assign2(j)
  sec(i,j) 'subtour elimination'
  cost
;
start.. sum(i2(j), x('%inicio%',j)) =e= m;
end.. sum(i2(i), x(i,'%fim%')) =e= m;
assign1(i2(i)).. sum(arcs(i,j), x(i,j)) =e= 1;
assign2(i2(j)).. sum(arcs(i,j), x(i,j)) =e= 1;
sec(arcs(i,j))$(i2(i) and i2(j)).. u(i) - u(j) + p*x(i,j) =L= p-1;
cost.. z =e= sum(arcs, c(arcs)*x(arcs));

option optcr=0;
option iterlim=10000000;
option reslim=3600;

* use parallel MIP
option threads=8;
option mip=cplex;

model mtsp/all;
solve mtsp minimizing z using mip;
display x,L,z,L;

```

Fonte: Autor baseado no MTSP/VRP (KALVELAGEN, 2009)

Após alterações, o modelo de programação do GAMS foi executado alterando o número de rotas visando atingir o menor tempo. O modelo foi aplicado propondo até 4 rotas no noturno. Os dados encontrados estão demonstrados no Quadro 21 para os dados diurnos e no Quadro 22 para os noturnos. Ambos exemplificam o tempo de rota aproximado e a distância percorrida.

Quadro 21– Conjunto de rotas ótimas para diferentes quantidades de veículos com partida da Garagem para o IFSC - demanda diurna

DIURNO			
NÚMERO DE ROTAS	ROTA	TEMPO (min)	DISTÂNCIA (km)
1	1	87	39,6
2	1	48	20,5
	2	50	22,7
3	1	34	13,4
	2	34	15,7
	3	42	28,3
4	1	33	13,5
	2	29	13,8
	3	50	25,4
	4	30	13,5

Fonte: Autor

Quadro 22– Conjunto de rotas ótimas para diferentes quantidades de veículos com partida da Garagem para o IFSC - demanda noturna

NOTURNO			
NÚMERO DE ROTAS	ROTA	TEMPO (min)	DISTÂNCIA (km)
1	1	66	29,2
2	1	35	16,2
	2	40	17,3
3	1	51	23,2
	2	29	13,5
	3	33	14,5
4	1	20	11,1
	2	28	11,8
	3	30	14,9
	4	36	18,8

Fonte: Autor

Ao analisar o Quadro 21 que corresponde às rotas propostas para o período diurno, é possível notar que para apenas um veículo o tempo de viagem fica inviável ficando em 87 min. No caso de ser utilizado dois veículos teríamos um tempo elevado para as duas rotas, na qual teríamos uma rota com 50 minutos aproximadamente. Para 3 veículos, teríamos uma rota com um tempo um pouco elevado de 42 minutos, mas quando comparado a proposta com 4 veículos, temos

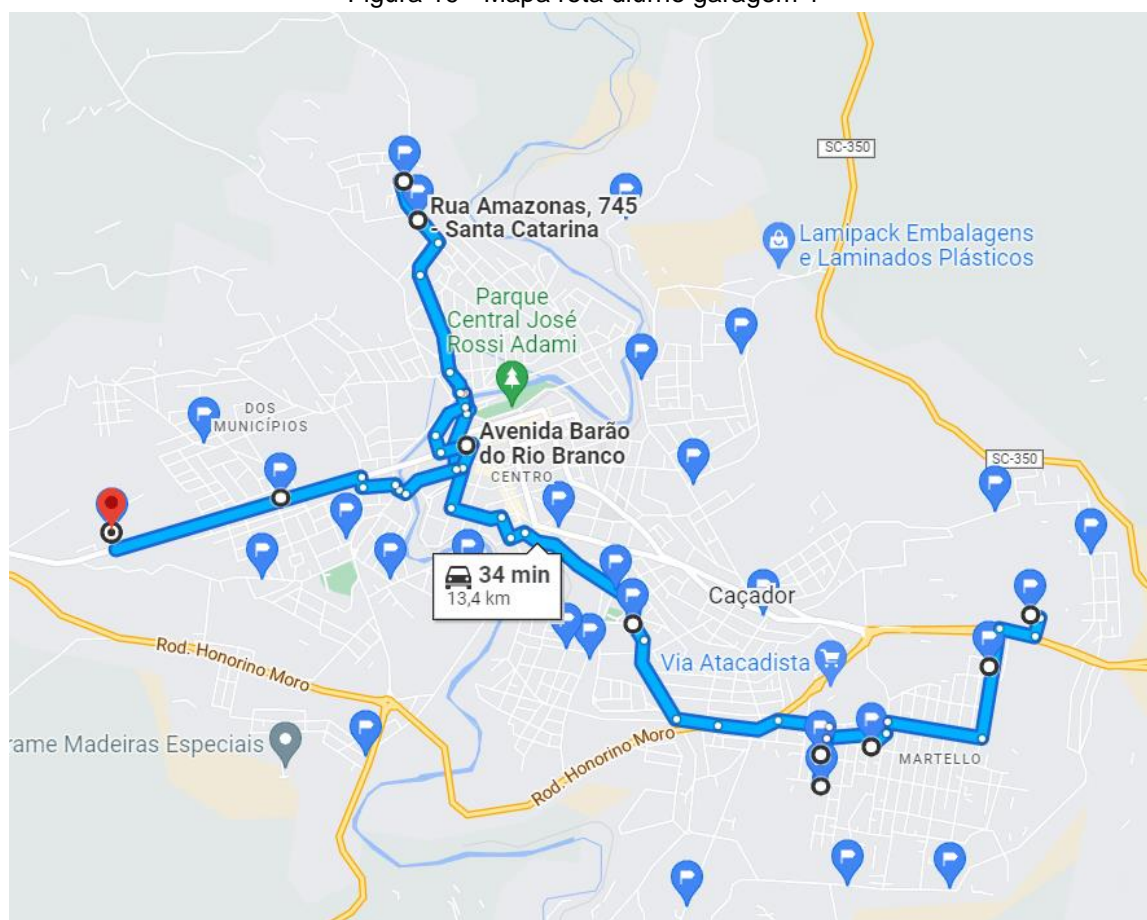
uma rota que tem tempo superior de 50 minutos, sendo selecionada a rota com 3 veículos. As rotas selecionadas estão demonstradas nos Quadro 23, 24 e 25 e nas Figuras 19,20 e 21.

Quadro 23 – Rota diurno garagem 1

Ponto	Endereço
N30	Garagem Auto Coletivo
N12	210 R. Antônio Bombassaro
N24	739 R. Benjamin Gioppo
N29	R. José Oleinik, 395 - Martello
N10	192 R. José Oleinik
N1	104 R. Otávio Gonçalves Cordeiro
N25	745 R. Amazonas
N3	1066 R. Amazonas
N28	Av. Barão do Rio Branco
N7	1822 Av. Fahdo Thomé
N0	IFSC

Fonte: Autor

Figura 19 - Mapa rota diurna garagem 1



Fonte: Autor com o auxílio do Google MAPS

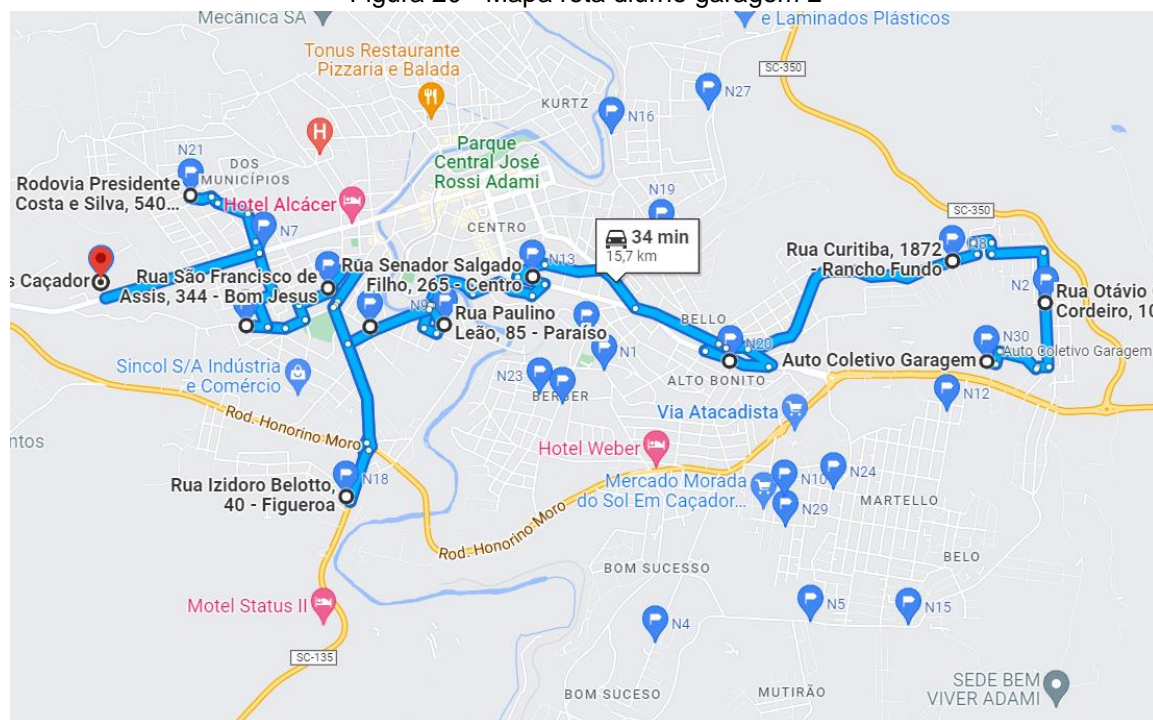
Quadro 24 – Rota diurna garagem 2

Ponto	Endereço
N30	Garagem Auto Coletivo
N2	104 R. Otávio Gonçalves Cordeiro
N8	1872 R. Curitiba
N20	510 R. Brasília
N13	265 R. Sen. Salgado Filho
N9	188 R. Paulino Leão
N11	20 R. Alcides Tombini
N18	40 R. Izidoro Belotto
N17	344 R. São Francisco de Assis
N22	618 R. Alfredo Cachoeira
N21	540 Rod. Pres. Costa e Silva

N0	IFSC
----	------

Fonte: Autor

Figura 20 - Mapa rota diurna garagem 2



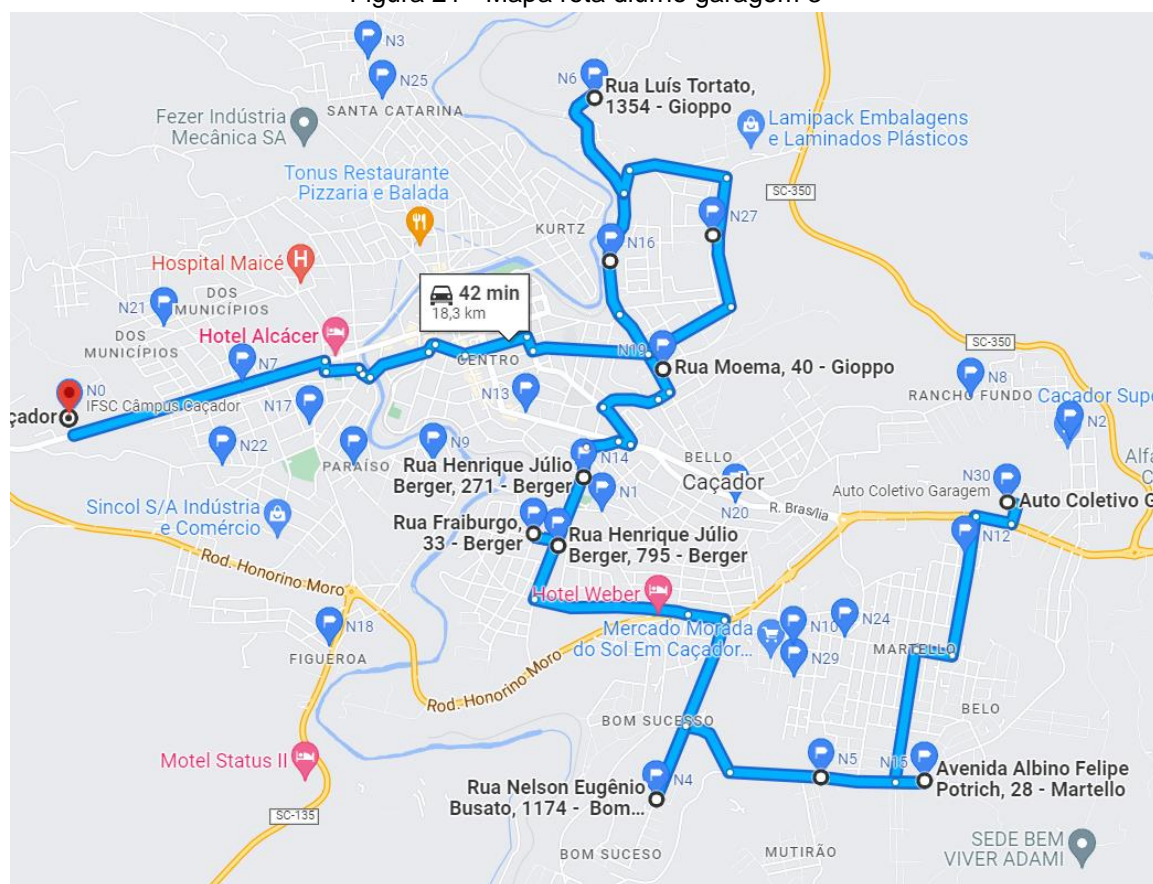
Fonte: Autor com o auxílio do Google MAPS

Quadro 25 – Rota diurna garagem 3

Ponto	Endereço
N30	Garagem Auto Coletivo
N15	28 Av. Albino Felipe Potrich
N5	1312 Av. Albino Felipe Potrich
N4	1174 R. Nelson Eugênio Busato
N26	795 R. Henrique Júlio Berger
N23	715 R. Abdala João
N14	1271 R. Henrique Júlio Berger
N19	40 R. Moema
N16	330 R. Luís Tortato
N6	1354 R. Luís Tortato
N27	820 Rod. Osvaldo Olsen
N0	IFSC

Fonte: Autor

Figura 21 - Mapa rota diurna garagem 3



Fonte: Autor com o auxílio do Google MAPS

No Quadro 22 foram demonstrados os valores encontrados após a utilização da programação do Gams, como descrito no caso das rotas diurnas o tempo para apenas um veículo ficou elevado, sendo necessário aplicar a solução no Gams para um maior número de veículos. Para 2 veículos o tempo encontrado foi um tempo satisfatório, ficando um veículo com tempo de rota de aproximadamente 34 min e outro de 40 min. O modelo ainda foi aplicado para até 4 veículos, mas conforme demonstrado no Quadro 22 a variação foi baixa inviabilizando a utilização de mais veículos. As duas rotas selecionadas estão demonstradas nos Quadros 26 e 27 e nas Figuras 22 e 23.

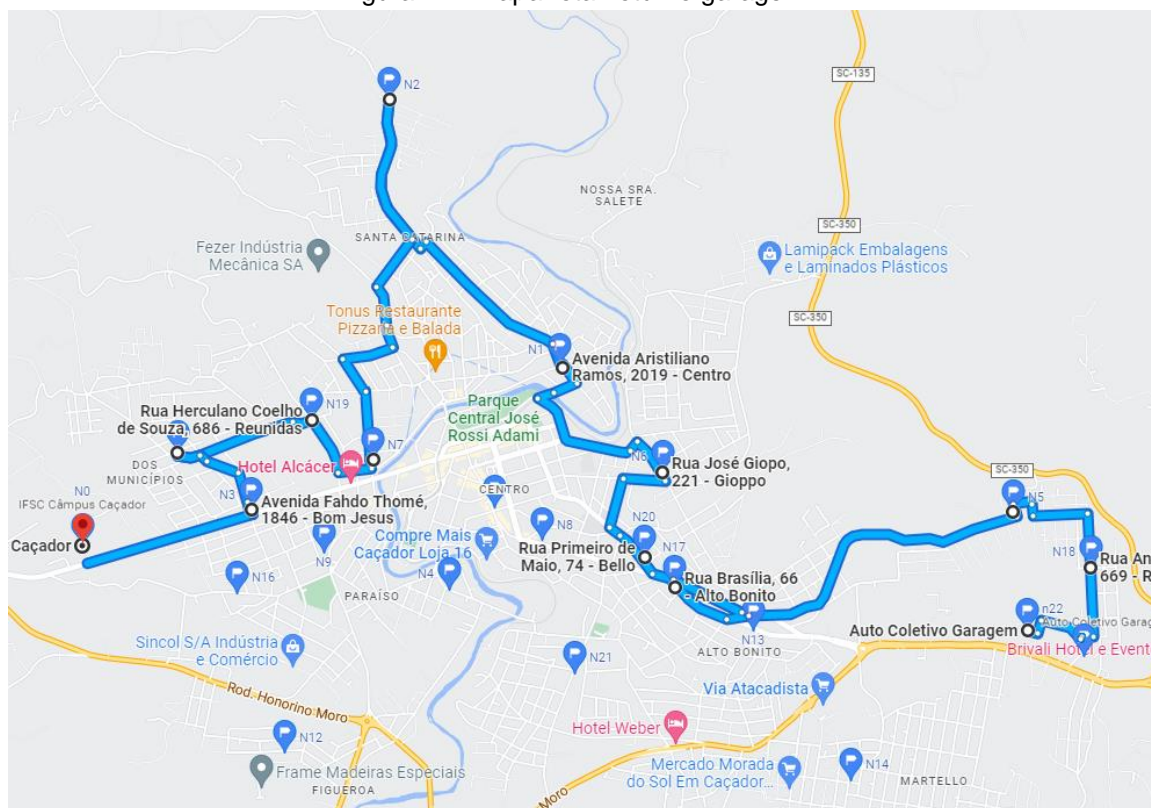
Quadro 26 – Rota noturno garagem 1

Ponto	Endereço
N22	Garagem Auto Coletivo
N18	669 R. Antônio Vivan
N5	193 R. Bernardino Deboni

N17	66 R. Brasília
N20	74 R. Primeiro de Maio
N6	221 R. José Giopo
N1	1451 Av. Aristiliano Ramos
N2	1607 R. Amazonas
N7	222 R. Dr. Altamiro Guimarães
N19	686 Rua Herculano Coelho de Souza
N15	540 Rod. Pres. Costa e Silva
N3	1846 Av. Fahdo Thomé
N0	IFSC

Fonte: Autor

Figura 22 - Mapa rota noturno garagem 1



Fonte: Autor com o auxílio do Google MAPS

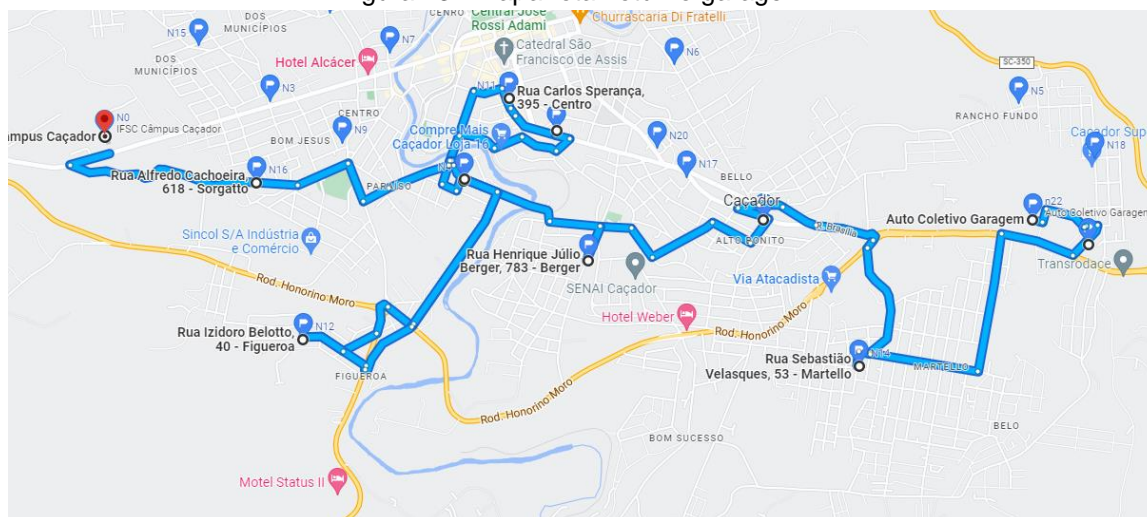
Quadro 27 – Rota noturno garagem 2

Ponto	Endereço
N22	Garagem Auto Coletivo

N10	28 Av. Albino Felipe Potrich
N14	1312 Av. Albino Felipe Potrich
N13	1174 R. Nelson Eugênio Busato
N21	795 R. Henrique Júlio Berger
N11	715 R. Abdala João
N8	1271 R. Henrique Júlio Berger
N4	40 R. Moema
N12	330 R. Luís Tortato
N9	1354 R. Luís Tortato
N16	820 Rod. Osvaldo Olsen
N0	IFSC

Fonte: Autor

Figura 23 - Mapa rota noturno garagem 2



Fonte: Autor com o auxílio do Google MAPS

Com a aplicação do modelo de programação no GAMS foi possível, então, propor rotas aplicadas para a atual empresa de transporte, a Auto Coletivo de Caçador. Ficaram definidas para o transporte diurno um conjunto de rotas com 3 veículos e para o noturno um conjunto de rotas com dois veículos. Ambos os conjuntos de rotas tiveram um tempo satisfatório de deslocamento viabilizando assim a aplicação da mesma.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento deste trabalho se deu através da utilização de um modelo matemático e o software GAMS IDE. O desenvolvimento de um modelo matemático auxiliou no processo de solução do problema, propondo rotas para o transporte coletivo, com destino ao IFSC Câmpus Caçador. Construir rotas otimizadas de acesso do transporte coletivo à instituição poderá contribuir para a viabilização de oferta de novas linhas pela empresa prestadora do serviço, ampliando as possibilidades de acesso à educação.

Para isso, foi necessário inicialmente a realização de uma revisão bibliográfica referente aos principais assuntos abordados, para que se obtivesse conhecimento para desenvolvimento deste estudo. Além disso, foi possível verificar a necessidade desse estudo, pois garantir a acessibilidade é extremamente importante e necessário para melhoria da mobilidade.

Contribuir para melhoria da oferta de transporte público traz, não apenas vantagens para a comunidade acadêmica, mas para toda a comunidade em geral, pois contribui para a redução de veículos, melhorando a mobilidade. Além disso, contribui para a sustentabilidade, que nos dias atuais, deve ser considerada uma prioridade da sociedade.

Neste trabalho foram propostas rotas para 3 veículos no período diurno, após a coleta de dados com a população acadêmica. Essas rotas estão bem dispersas na cidade de Caçador, mas como sugestão, seria interessante adicionar um ponto nas proximidades do Hospital Maicé e no Bairro DER, no período diurno. Essas rotas poderiam facilitar o acesso à instituição. Por serem rotas com duração máxima de aproximadamente 48 minutos, o tempo de deslocamento seria satisfatório e provavelmente mais pessoas passariam a utilizar o transporte coletivo.

No período noturno, foram propostas rotas para 2 veículos, as quais tem um tempo máximo aproximado de 42 minutos. Como sugestão a empresa prestadora, poderiam ser adicionados mais pontos no bairro Martelo para que tivesse uma cobertura maior da Cidade. Além disso, é importante ressaltar, que o transporte deveria respeitar o início e término das aulas, garantindo o acesso à educação. Portanto, considera-se que foi possível atingir os objetivos propostos.

Com a aplicação do *software* nos dados coletados, foi possível propor rotas através das distâncias entre pontos, foi necessária uma análise criteriosa dos dados para realizar os ajustes dos pontos da melhor forma possível e com o GAMS IDE, foi encontrada uma solução de mínima distância, utilizando o mínimo de veículos possível e visando um tempo de deslocamento satisfatório.

Posteriormente, viu-se a necessidade de propor rotas otimizadas para a atual empresa de transporte. Para isso foi necessário calcular a distância entre todos os postos para o novo ponto que seria da garagem da Auto Coletivo. Ainda houve a necessidade de realizar alterações no modelo matemático para garantir que o veículo saísse da garagem da Auto Coletivo e fosse com destino ao IFSC. Com a aplicação, foi possível encontrar um conjunto de rotas para o transporte diurno e um conjunto de rotas para o transporte noturno. No caso do diurno ficou definida a utilização de 3 rotas levando em consideração o tempo e no noturno duas rotas.

Os resultados obtidos foram satisfatórios e a implementação desse modelo seria de extrema importância para o município de Caçador de forma a atender as demandas da comunidade escolar. Sugere-se que este estudo tenha continuidade junto aos órgãos competentes e a instituição, pois a implementação desta proposta possibilitaria maior acesso à educação e maior mobilidade. Desta forma, possibilitaria o direito à educação, direito este que deve ser prioridade para a sociedade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. Resolução nº 7, de 18 de dez. de 2018. **Ministério da educação:** Conselho nacional de educação. 243. ed. Brasília, DF, 18 dez. 2018. Disponível em: https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/55877808. Acesso em: 20 dez. 2022.

BRASIL. Lei Federal nº 12.587, de 3 de janeiro de 2012. **Dispõe sobre as diretrizes da política nacional de mobilidade urbana e dá outras providências.** Diário Oficial da União, Brasília, 04 jan 2012. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12587.htm. Acesso em: 17 de set. 2022

BRASIL, Ministério das Cidades (2007). **PLANMOB - Construindo a cidade sustentável:** Caderno de referência para o Plano de Mobilidade Urbana. Disponível em: . Acesso em: 22 de nov. 2022.

BELFIORE, Patrícia Prado. **Scatter search para problemas de roteirização de veículos com frota heterogênea, janela de tempo e entrega fracionadas.** 2006. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Produção, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

BODIN, Lawrence *et al.* Routing and scheduling of vehicles and crews: : The state of the art. **Computers & operations research**, v. 10, p. 63-211, 1983.
CARVALHO, J. L. F .;

CHRISTOFIDES, N. **The traveling salesman problem:** A guide tour of combinatorial optimization. 1985.

COLIN, E. C. **Pesquisa operacional:** 170 aplicações em Estratégia, Finanças, Logística, Produção, Marketing e vendas. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

CUNHA, Claudio Barbieri. **Aspectos práticos da aplicação de roteirização de veículos a problemas reais.** São Paulo, v. 8 , n. 2, 2000. Disponível em: http://www.gestori.com.br/website2/diversos/artigos/aspectos_praticos_de_aPLICACAO_da_roteirizacao.pdf. Acesso em: 06 de out. de 2022.

DESLANDES, Sueli Ferreira. **Teoria social:** teoria, método e criatividade. Petrópolis, RJ: Vozes, 1994.

EMBARQ Brasil, **Qualiônibus:** pesquisa de satisfação, 2014.

FERRAZ, Antonio Clóvis “Coca” Pinto; TORRES, Isaac Guillermo Espinosa. **Transporte público urbano.** 2. ed. São Carlos: Rima, 2004.

GIL, A .C. **Como elaborar projetos de pesquisa.** São Paulo: Atlas, 1987.

GONSALVES, E. P. **Iniciação à pesquisa científica**. Campinas, SP> Alinea, 2001.

IBAM, Instituto Brasileiro de Administração Municipal. **Mobilidade e política urbana**: subsídios para uma gestão integrada. Ministério das Cidades: Rio de Janeiro, 2005.

IBGE, Diretoria de Pesquisa, **Coordenação de indústria. pesquisa anual da indústria da construção**. Rio de Janeiro, v. 18, p.1-94, 2008. Disponível em: <http://www.cbicdados.com.br/files/pesquisa/2009/paic2009.pdf>. Acesso em: 18 de set. 2022.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Demográfico 1991. Censo Demográfico 2010. **Características da população e dos domicílios**: resultados do universo. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/default.shtm>>. Acesso em: 01 ago. 2022.

IFSC, O câmpus. Disponível em: <https://www.ifsc.edu.br/web/campus-cacador/o-campus>. Acesso em: 19 de set. 2022.

KALVELAGEN, Erwin. **MTSP/VRP example**. 2009. Disponível em: <http://yetanothermathprogrammingconsultant.blogspot.com/2009/03/mtspvrp-example.html>. Acesso em: 22 set. 2022.

KENNEDY, C.A., 2002. **A comparison of the sustainability of public and private transportation systems**: study of 25 the Greater Toronto Area.

LISBOA, Erico Fagundes Anicet. **Pesquisa operacional**. Rio de Janeiro, 2002. Disponível em: <<https://www.ebah.com.br/content/ABAAABRQkAF/pesquisa-operacional>>. Acesso em: 08 de set. 2022

LARICA, N. J. **Design de transporte - a arte em função da mobilidade**. Rio de Janeiro: EDPUC,2003.

MAGAGNIN, Renata Cardoso; SILVA, Antônio Néelson Rodrigues da. A percepção do 66 especialista sobre o tema mobilidade urbana. **Transportes**, v. XVI, p. 25-35, jun 2008.

MATTAR, F. N. **Pesquisa de marketing**: metodologia, planejamento. São Paulo: Atlas, 2005.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Política nacional de mobilidade urbana**. 2013. Disponível em: <https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSEMOB/cartilha_lei_12587.pdf>. Acesso em 09 nov. 2022.

MUNCK, Rita de Cássia Vandanezi. **A mobilidade urbana no Brasil**: O desempenho dos programas de incentivo. Brasília, 2019. Trabalho de

conclusão de curso (Especialização) - Escola Nacional de Administração Pública – ENAP.

PONTES, Tais Furtado. **Avaliação da mobilidade urbana na área metropolitana de Brasília**. 2010. 250 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Brasília, Brasília, 2010.

PRODANOV, Cleber Cristiano Prodanov; FREITAS, Ernani Cesar de. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico** - 2ª Edição. Editora Feevale, 2013.

REIS, Manoel de Andrade e Silva. **Mobilidade urbana: um desafio para gestores públicos**. 2014. Disponível em: <https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/handle/10438/16446>. Acesso em 10 nov. 2022.

ONU – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **World urbanization prospects: The 2018 Revision**. 2018. Disponível em: <https://population.un.org/wup/>. Acesso em: 20 de set. de 2022.

RAIA JR, A.A.; SILVA, A.N.R.; BRONDINO, N.C.M. **Comparação entre medidas de acessibilidade para aplicação em cidades brasileiras de médio porte**. In: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES, 11., Rio de Janeiro, Anais... Rio de Janeiro: ANPET, 1997, p. 997-1008.

SILVA FILHO, N. G. da; RAIA JÚNIOR, A. Azevedo. **A mobilidade urbana e seu caráter sociogeográfico: desmistificando consensos -o caso brasileiro**. in: xiii safety, health and environment world congress, 13, 2013, Porto. Porto: SHEWC, p. 147 - 151. 2013.

TAHA, Hamdy A. **Pesquisa operacional**. 8. ed. Pearson: 2007.

THIOLLENT, Michel. **Metodologia da pesquisa-ação**. Cortez, 1985. 132 p.
WOLSEY, L. **Interger programming**. New York: Wiley-Interscience, 1998. 264 p.

ULLRICH, Danielle Regina et al. **Engenharia de produção PPC - Projeto pedagógico do curso**. 2015. Disponível em: http://cs.ifsc.edu.br/portal/files/CACADOR_ENG_PRODUCAO_PPC_822.pdf. Acesso em: 16 nov. 2022.

VASCONCELLOS, E. A. **Transporte urbano nos países em desenvolvimento**. 3 ed. ed. São Paulo: Annablume, 2000.

VASCONCELLOS, Eduardo de Alcântara. **Os serviços de transporte de passageiros por fretamento**. Transporte por fretamento, v. 9, p. 26-45, nov 2012.

APÊNDICE

Você reside na cidade de Caçador?

- Sim
- Não

Seção do formulário para residentes de Caçador

Qual curso você faz no IFSC?

- Técnico Integrado em Informática (Diurno)
- Técnico Integrado em Administração (Diurno)
- Técnico Integrado em Plástico (Diurno)
- Técnico Subsequente em Logística (Noturno)
- Técnico Subsequente em Eletromecânica (Noturno)
- Graduação em Sistemas de Informação
- Graduação em Engenharia de Produção
- PROEJA

Qual a sua principal forma de deslocamento para o IFSC?

- Carro
- Transporte coletivo (ônibus)
- Transporte fretado
- Outro

Seção do formulário para não usuários de ônibus

Caso tivesse transporte coletivo (ônibus) condizente com os horários de início e término das aulas, com origem/destino próximo à sua residência, passaria a utilizá-lo?

- Sim
- Não
- Talvez

Seção do formulário para usuários ou potenciais usuários de ônibus

Qual horário você mais utilizará ônibus para o IFSC:

- Entre 07h00 e 07h30;
- Entre 11h30 e 12h00;
- Entre 13h00 e 13h30;
- Entre 17h30 e 18h00;
- Entre 18h00 e 18h30;
- Entre 18h00 e 18h30;
- Entre 22h30 e 23h00;

Existe ponto de ônibus próximo a sua residência?

- Sim
- Não

Qual o seu bairro de residência no município de Caçador?

- Alto bonito
- Bello
- Bom Jesus
- Centro
- DER
- Figueroa
- Gioppo
- Kurtz
- Martello
- Municípios
- Nossa senhora da Salete
- Paraíso
- Rancho Fundo
- Reunidas
- São Cristóvão
- Sorgatto
- Outro

Qual o seu endereço?